Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης
Πολυτεχνική Σχολή Ξάνθης
Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών
Τομέας Τηλεπικοινωνιών και Διαστημικής
Εργαστήριο Μικροκυμάτων

Νικολίτσα Γιαννοπούλου

"Ανάπτυξη Κεραίας Ευρείας Ζώνης για Συστήματα Κινητής Τηλεφωνίας 3ης Γενεάς"

Μεταπτυχιακή Διατριβή

Ξάνθη

Οκτώβριος 2003

Αφιερώνεται

Στη Μνήμη του Καθηγητή μου Ιωάννη Σχοινά

Πρόλογος

Η μεταπτυχιακή διατριβή εκπονήθηκε κατά το ακαδημαϊκό έτος 2002-2003 στο Εργαστήριο Μικροκυμάτων του Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών της Πολυτεχνικής Σχολής Ξάνθης του Δημοκριτείου Πανεπιστημίου Θράκης.

Ήταν μια εξαιρετική ευκαιρία για να δοκιμασθεί η εμπειρία της μακρόχρονης διαρκούς απασχόλησής μου με ερευνητικά θέματα Κεραιών πού άρχισε με την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας μου το 1992 και συνεχίστηκε από το επόμενο έτος με την εκπόνηση διδακτορικής διατριβής.

Η εργασία αυτή αποτέλεσε πεδίο ειδικής εφαρμογής μερικών από τις γενικότερες πρωτότυπες τεχνικές και μεθόδους, στην ανάπτυξη των οποίων αξιώθηκα να συμβάλλω ως μέλος της Ερευνητικής Ομάδας Κεραιών του Δημοκριτείου Πανεπιστημίου Θράκης. Καθόσον είμαι σε θέση να κρίνω, αποτελεί μια μάλλον πλήρη μελέτη, αφού την αναζήτηση στη βιβλιογραφία ακολούθησε ο σχεδιασμός, η θεωρητική ανάλυση, οι υπολογισμοί, ο προγραμματισμός, η προσομοίωση, η βελτίωση, η επινόηση κατασκευαστικών τεχνικών, η κατασκευή και οι πειραματικές μετρήσεις μιας σειράς προτύπων κεραιών για να επιλεγεί τελικά η πλέον κατάλληλη από αυτές ως η πρωτότυπη εκείνη κεραία η οποία φαίνεται να είναι αποδεδειγμένα ικανή να εξυπηρετήσει τα συστήματα για τα οποία σχεδιάσθηκε.

Ευχαριστώ τον Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Γεώργιο Κυριακού για την υπόδειξη του θέματος και την αδιάκοπη υποστήριξή του.

Νικολίτσα Ι. Γιαννοπούλου

Ξάνθη, Οκτώβριος 2003

Περιεχόμενα

Εισαγωγή

Το αντικείμενο αυτής της εργασίας είναι η ανάπτυξη κεραίας ευρείας ζώνης για συστήματα κινητής τηλεφωνίας τρίτης γενεάς. Η ανάπτυξη κεραίας περιλαμβάνει το σχεδιασμό, τη θεωρητική ανάλυση, την προσομοίωση, την κατασκευή και τις μετρήσεις των χαρακτηριστικών σειράς κεραιών με σκοπό την επιλογή της πλέον κατάλληλης κεραίας η οποία θα εξυπηρετήσει τα συστήματα κινητής τηλεφωνίας τρίτης γενεάς και θα είναι συμβατή με τις απαιτήσεις των συστημάτων της δεύτερης γενεάς. Για την επίτευξη αυτού του σκοπού εργαζόμαστε ως εξής:

Στο Κεφάλαιο 1 δίνουμε μια περιγραφή της κατάστασης στο χώρο των κινητών επικοινωνιών όπου τα πάντα εξελίσσονται συνεχώς και παραθέτουμε ως παράδειγμα μια σειρά κεραιών οι οποίες χρησιμοποιούνται στην κινητή τηλεφωνία τρίτης γενεάς τόσο για συσκευές χειρός όσο και για σταθμούς βάσης, κινητούς σταθμούς και για χρήση σε κτίρια. Βάσει των δεδομένων αυτών αποφασίζουμε να ασχοληθούμε με την κεραία Discone θέτοντας δύο στόχους: την ικανοποιητική προσαρμογή της αντίστασης εισόδου σε ευρεία περιοχή συχνοτήτων (800-2500MHz) και το παγκατευθυντικό διάγραμμα ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο στην ίδια ευρεία περιοχή συχνοτήτων.

Στο Κεφάλαιο 2 παραθέτουμε μια έκθεση όλων των πληροφοριών που αντλήσαμε από τη συστηματική έρευνα της βιβλιογραφίας για την κεραία Discone με τη συμπαγή αλλά και τη συρμάτινη μορφή της. Υιοθετούμε το χαρακτηρισμό Skeleton Discone για τη συρμάτινη μορφή της κεραίας.

Στο Κεφάλαιο 3 επιχειρούμε τη θεωρητική μελέτη του διαγράμματος ακτινοβολίας της Skeleton Discone κεραίας με μόνο περιορισμό τις οκτώ ακτίνες για το δίσκο και τις οκτώ ακτίνες για τον κώνο, χρησιμοποιώντας τη διδαχθείσα Θεωρία Κεραιών. Η παραγωγή των διαγραμμάτων ακτινοβολίας για μία δοκιμαστική Skeleton Discone κεραία πραγματοποιείται μέσω κατάλληλου προγράμματος που συντάξαμε σε γλώσσα Compaq Visual FORTRAN.

Στο Κεφάλαιο 4 θέτουμε τα δύο κριτήρια βάσει των οποίων θα πραγματοποιηθεί ο σχεδιασμός της κατάλληλης Skeleton Discone κεραίας. Τα κριτήρια αυτά είναι: λόγος στασίμων κυμάτων μικρότερος ή ίσος του 2 και στο οριζόντιο επίπεδο περίπου κυκλικό διάγραμμα ακτινοβολίας ανά συχνότητα με σχετική ένταση ακτινοβολίας όχι μικρότερη από -3dB συνολικά. Περιγράφουμε το πρόγραμμα που συντάξαμε σε γλώσσα MS Visual BASIC 6.0 για την εξαγωγή της γεωμετρίας των θεωρούμενων μοντέλων προσομοίωσης. Για την προσομοίωση χρησιμοποιούμε το πρόγραμμα RICHWIRE. Μετά από διερεύνηση

καταλήγουμε σε 30 μοντέλα κεραιών από τα οποία επιλέγουμε 18 και τα χωρίζουμε σε τρεις ομάδες με κοινό χαρακτηριστικό κάθε ομάδας τη γωνία του κώνου: 120°, 90° και 60°. Τέλος, συγκρίνουμε τα αποτελέσματα της θεωρητικής μελέτης του διαγράμματος ακτινοβολίας με εκείνα της προσομοίωσης με σκοπό να καταδείξουμε την ορθότητα του μοντέλου προσομοίωσης που υιοθετήσαμε.

Στο Κεφάλαιο 5 παραθέτουμε αναλυτικά, για κάθε μία από τις 20 συνολικά Skeleton Discone κεραίες που κατασκευάσαμε, τα αποτελέσματα των επεξεργασμένων μετρήσεων αντίστασης εισόδου και των διαγραμμάτων ακτινοβολίας αλλά και τα τριδιάστατα διαγράμματα ακτινοβολίας τους από την προσομοίωση. Εύκολα κανείς εξάγει το συμπέρασμα της πολύ καλής συμφωνίας μεταξύ προσομοίωσης και μετρήσεων για την αντίσταση εισόδου και της σχεδόν απόλυτης συμφωνίας προσομοίωσης και μετρήσεων για το διάγραμμα ακτινοβολίας.

Στο Κεφάλαιο 6 συγκεντρώνουμε τα συμπεράσματα της εργασίας αυτής και προτείνουμε μία πρωτότυπη Skeleton Discone κεραία ως την πλέον κατάλληλη για την επίτευξη του αρχικού μας σκοπού, η οποία πληροί και τις δύο προϋποθέσεις-κριτήρια που θέσαμε, σε όλη τη ζώνη 800-2500MHz. Για αυτήν την πρωτότυπη Skeleton Discone κεραία παρατίθενται όλα τα χαρακτηριστικά σε διάφορες μορφές.

Τέλος, στο Παράρτημα δίνουμε έναν οδηγό αγοράς Discone κεραιών.

Κεφάλαιο 1 : Κεραίες για Συστήματα Κινητής Τηλεφωνίας Τρίτης Γενεάς.

1.1 : Πρότυπα Κινητής Τηλεφωνίας.

Η τρίτη γενεά (3G) κινητής τηλεφωνίας είναι σχεδιασμένη να υποστηρίξει για πρώτη φορά ευρυζωνικές επικοινωνίες για τη μετάδοση δεδομένων και φωνής. Φιλοδοξεί να αποτελέσει τη βάση για μια ασύρματη κοινωνία όπου η πρόσβαση στην πληροφορία και η εξυπηρέτηση θα είναι διαθέσιμες οποτεδήποτε, οπουδήποτε και σε οποιονδήποτε έχει τη δυνατότητα. Το τεχνικό πλαίσιο εργασίας της τρίτης γενεάς καθορίστηκε από την ITU με το πρότυπο IMT-2000 (International Mobile Telecommunications). Η πρόβλεψη ήταν να υιοθετηθεί από το φθινόπωρο του 2002 και να προσφέρει ρυθμούς ροής δεδομένων έως 2Mbps σε σχέση με την GSM (Global System for Mobile Communications) της δεύτερης γενεάς που προσέφερε ρυθμούς έως 384Kbps μέγιστο με TDMA (Time Division Multiple Access), ([1]-[4]).

Το πρότυπο IMT-2000 μπορεί να εφαρμοστεί και σε συστήματα κινητής τηλεφωνίας που ικανοποιούν έναν αριθμό απαιτήσεων όσον αφορά την ταχύτητα μετάδοσης, τον τρόπο πρόσβασης και άλλους παράγοντες. Βασικά θα χρησιμοποιεί τις δύο μεγάλες τεχνολογίες ασύρματης επικοινωνίας, την TDMA και την CDMA (Code Division Multiple Access).

Στη συνέχεια παραθέτουμε μια σύντομη περιγραφή για διάφορα πρότυπα ασύρματης τηλεφωνίας, η επιλογή των οποίων στηρίχθηκε στα εξής κριτήρια: ενδεικτική κάλυψη της αναλογικής και της ψηφιακής κινητής τηλεφωνίας και του ασύρματου δικτύου με τα πιο διαδεδομένα και σημαντικά, κατά τη γνώμη μας, συστήματα, συχνότητες λειτουργίας κάτω

από 2500MHz, εφαρμογή κυρίως σε Αμερική και Ευρώπη και δευτερευόντως στην Ασία και αλλού, ([5]- [9]).

AMPS: Advanced Mobile Phone System.

Είναι το πρότυπο πρώτης γενεάς κινητής τηλεφωνίας που αναπτύχθηκε στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής. Είναι ένα αναλογικό σύστημα που χρησιμοποιεί διαφορετικής συχνότητας φέροντα για να δημιουργήσει κανάλια επικοινωνίας με την τεχνική FDMA (Frequency Division Multiple Access). Χρησιμοποιείται ακόμα και αποτελεί τη βάση για άλλα πρότυπα όπως το TACS. Αρχικά βρήκε εφαρμογή στην Βόρεια Αμερική, την Λατινική Αμερική, την Αυστραλία και σε περιοχές της Ρωσίας και της Ασίας.

TACS: Total Access Communication System.

Είναι πρώτης γενεάς σύστημα που σχεδιάστηκε για την αγορά της Μεγάλης Βρετανίας αλλά αργότερα υιοθετήθηκε και από άλλες χώρες σε όλο τον κόσμο συμπεριλαμβανομένου του Hong Kong και της Ιαπωνίας.

NMT: Nordic Mobile Telephone.

Είναι ένα από τα πρώιμα συστήματα κινητής τηλεφωνίας που αναπτύχθηκε από την ένωση οργανισμών των χωρών της βόρειας Ευρώπης όπως η Δανία, η Φιλανδία, η Ισλανδία, η Νορβηγία και η Σουηδία. Έχει δύο παραλλαγές, την NMT450 που λειτουργεί στα 450MHz και προορίζεται να καλύψει ευρείες περιοχές με χαμηλή πυκνότητα χρήσης, και την NMT900 στα 900MHz που σχεδιάστηκε στα τέλη της δεκαετίας του 1980 για να υποστηρίξει φορητές συσκευές χειρός σε αστικό περιβάλλον.

IS-54: Interim Standard 54.

Είναι το αρχικό TDMA ψηφιακό πρότυπο το οποίο εφαρμόστηκε το 1992 και μετά αναβαθμίστηκε στο τελευταίο IS-136 πρότυπο το 1996 στη βόρεια Αμερική.

IS-95/cdmaOne: Interim Standard 95.

Τον Ιούλιο του 1993 η TIA (Telecommunications Industry Association) υιοθέτησε το πρότυπο της Βορείου Αμερικής για τη δεύτερη γενεά κυψελωτών τηλεπικοινωνιών το οποίο βασιζόταν στην CDMA τεχνολογία στενού εύρους.

GSM: Global System for Mobile Communications.

Το σύστημα αυτό προέκυψε από τη συνεργασία διαφόρων οργανισμών της Νορβηγίας και είχε επιτυχία σε παγκόσμια κλίμακα. Χρησιμοποιείται σε πάνω από 125 χώρες και έχει περισσότερους από 160 εκατομμύρια χρήστες. Υποστηρίζει μετάδοση φωνής, δεδομένων, αποστολή μηνυμάτων και έχει τη δυνατότητα περιήγησης μεταξύ διαφορετικών δικτύων με συνέπεια τα κινητά τηλέφωνα να λειτουργούν σε πολλά μέρη στον κόσμο. Το αρχικό σύστημα συνεχίζει να αναπτύσσεται ώστε να επιτρέψει υψηλότερους ρυθμούς ροής δεδομένων και να εισαγάγει τα διακοπτόμενα πακέτα. Αναφέρεται ως GSM+ ή GSM21/2 και έχει κερδίσει σημαντικό ενδιαφέρον μεταξύ των χρηστών.

DCS-1800: Digital Communication (or Cellular) System.

Είναι ψηφιακό πρότυπο κινητής τηλεφωνίας το οποίο βασίζεται στο διεθνές πρότυπο GSM και αποτελεί ουσιαστικά την επέκταση του αρχικού GSM από τα 900MHz στα 1800 MHz. Η ανοικτή αρχιτεκτονική του επιτρέπει στους χρήστες την επιλογή του εξοπλισμού από πολλούς προμηθευτές και δίκτυα. Λόγω της λειτουργίας του σε υψηλότερη συχνότητα, όπου τυπικά υπάρχει διαθέσιμο μεγαλύτερο εύρος ζώνης, επιτρέπει και μεγαλύτερη πυκνότητα συνδρομητών και μεγαλύτερη χωρητικότητα κυκλοφορίας.

PDC: Personal Digital Communications.

Πρόκειται για τεχνολογία TDMA δεύτερης γενεάς που ξεκίνησε και χρησιμοποιήθηκε βασικά στην Ιαπωνία. Οι υπηρεσίες λειτουργούν στα 800MHz και 1500MHz.

CDPD: Cellular Digital Packet Data.

Η AT&T προσφέρει υπηρεσίες κυψελωτής ψηφιακής δέσμης δεδομένων που παρέχουν πληροφορίες Internet μέσω ασύρματου δικτύου σε κινητά τηλέφωνα.

RAM Mobitex: Mobile Data.

Είναι αποτέλεσμα συνεργασίας της Ericsson με την Bell South στην Αμερική. Το Mobitex αρχικά αναπτύχθηκε στη Σουηδία το 1986 για να υποστηρίξει υπηρεσίες φωνής και αποστολής δεδομένων. Έχει εξαπλωθεί ευρέως με πάνω από 1000 σταθμούς βάσης σε λειτουργία και προσφέρει πανεθνική κάλυψη μέσω δορυφόρου, τηλεφωνικής σύνδεσης, κινητών και ιδιωτικών δικτύων.

Ardis RD-LAP: Advanced Radio Data Integrated System.

Αναπτύχθηκε από την Motorola και την IBM το 1990. Χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο RD-LAP με κυψελωτή αρχιτεκτονική. Διαθέτει πάνω από 1400 σταθμούς βάσης στην

Αμερική και υποστηρίζει μεταφορά δεδομένων, ράδιο-ταχυδρομείο και αποστολή προσωπικών μηνυμάτων. Είναι κατάλληλο για εφαρμογές στενού εύρους ζώνης.

IEEE802.11 Wireless LAN.

Είναι το πρότυπο που προτείνει το IEEE για τα ασύρματα δίκτυα με δύο βασικά αρχιτεκτονικές [10]. Τα ad hoc δίκτυα τα οποία χρησιμοποιούν τη μέθοδο εκπομπής σήματος προς όλους τους άλλους κόμβους ώστε να καθορίσουν ποιος είναι ποιος και την υποδομή που χρησιμοποιεί σταθερά σημεία πρόσβασης στο δίκτυο με τα οποία μπορούν να επικοινωνήσουν άλλα κινητά τηλέφωνα. Εάν εμφανιστούν υπερκαλύψεις διακόπτεται η επικοινωνία, τεχνική που μοιάζει με αυτήν των κυψελωτών δικτύων. Αν και το πρότυπο εξασφαλίζει ένα αξιόπιστο μέσο ασύρματης μεταφοράς δεδομένων, ωστόσο έχουν προταθεί πολλές βελτιώσεις. Η χρήση των ασυρμάτων LANs αναμένεται να αυξηθεί ραγδαία στο μέλλον καθώς οι επιχειρήσεις ανακαλύπτουν την αύξηση της παραγωγικότητας και της ευκινησίας που οι ασύρματες επικοινωνίες μπορούν να εξασφαλίσουν.

Στον Πίνακα 1.1.1 δίνονται 3 βασικά χαρακτηριστικά - συχνότητα, τρόπος πρόσβασης και ρυθμός ροής – για αυτά τα πρότυπα ασυρμάτων τηλεπικοινωνιών.

Πίνακας 1.1.1: Πρότυπα Ασυρμάτων Τηλεπικοινωνιών.

	Πρότυπο	Περιοχή Συχνοτήτων [MHz]		Μέθοδος Πολλαπλής Πρόσβασης	Ρυθμός Ροής Δεδομένων
		Rx	Tx		
Αναλογική Κινητή Τηλεφωνία	AMPS	869-894	824-849	FDMA	NA
	TACS	E-:916-949	871-904	FDMA	NA
		N-:860-870	915-925		
	NMT	450:463-468	453-458	FDMA	NA
		900:935-960	890-915		
Ψηφιακή Κινητή Τηλεφωνία	IS-54/136	869-894	824-849	TDMA/ FDM	48.6 kbps
	IS-95	869-894	824-849	CDMA/ FDM	1.2288 Mbps
		1930-1990	1850-1910		
		Ασία Μόνο			
		2110-2170	1920-1980		

	GSM	869-894	824-849	TDMA/ FDM	270.833 kbps
		925-960	880-915		
		1805-1880	1710-1785		
		1930-1990	1850-1910		
	DCS-800	1805-1880	1710-1785	TDMA/ FDM	270.833 kbps
	PDC	810-826	940-956	TDMA/ FDM	42 kbps
		1429-1441	1453-1465		
		1477-1489	1501-1513		
WLAN/ LAN	CDPD	869-894	824-849	FDMA	19.2 kbps
	RAM Mobitex	Βόρεια Αμερική		TDMA/FDM	8 kbps
		935-941	896-902		
		Ευρώπη/Ασία			
		403-470			
	Ardis RD-LAP	851-869	806-824	TDMA/FDM	19.2 kbps
	IEEE 802.11	Βόρεια Αμερική/Ευρώπη		CSMA	1 or 2 Mbps
		2400-2483			
		Ιαπωνία			
		2470-2499			

1.2 : Κινητή Τηλεφωνία Τρίτης Γενεάς.

Η πρώτη έκδοση (Release 99) των χαρακτηριστικών της κινητής τηλεφωνίας τρίτης γενεάς ήταν το πρότυπο ITU-R το 2000 και η πρώτη παγκόσμια εμπορική υπηρεσία WCDMA (Wide Code Division Multiple Access) ξεκίνησε στην Ιαπωνία το Μάιο του 2000 [11]. Η τεχνολογία WCDMA είναι CDMA με 20MHz εύρος ζώνης κατάλληλη για ευρυζωνι-

κές ψηφιακές ραδιο-επικοινωνίες Internet, πολυμέσων, βίντεο με πλήρη κίνηση, μετάδοση δεδομένων σε υψηλές ταχύτητες της τάξης των Mbps [12].

Η ευρωπαϊκή έκδοση του προτύπου είναι το UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) το οποίο αναπτύχθηκε κυρίως για χώρες με δίκτυα GSM. Είναι ένα πραγματικά γενικό σύστημα αφού αποτελείται και από επίγεια και από δορυφορικά συστήματα υποστήριξης [13]. Δημιουργήθηκε από το ETSI (European Telecommunications Standards Institute) και πολλές φορές δηλώνεται ως ULTRA όταν αναφέρεται σε επίγειες επικοινωνίες [14].

Ο πυρήνας του δικτύου βασίζεται στη μεταφορά IP πακέτων με υψηλή ταχύτητα, πρόβλεψη QoS (Quality of Service) ποιότητας υπηρεσίας και αποδοτική εκμετάλλευση του φάσματος [11]. Δεν υπάρχει διαθέσιμο φάσμα για τέτοιες συσκευές στη βάση του απλού χρήστη και τα συστήματα θα εφαρμοστούν σε φάσμα που ήδη χρησιμοποιείται από άλλους. Το διαδιδόμενο σήμα θα μοιάζει με θόρυβο και η μέση τιμή ισχύος θα είναι πολύ χαμηλή (mW) ώστε να αποφευχθεί η παρεμβολή στα υπάρχοντα συστήματα. Κατά συνέπεια η διάδοση των κυμάτων - ακτινοβολία θα είναι ένα κρίσιμο πεδίο προς ανάπτυξη τόσο για το φορητό όσο και για το σταθερό εξοπλισμό [13].

Στον Πίνακα 1.2.1 δίνονται τα χαρακτηριστικά της κινητής τηλεφωνίας τρίτης γενεάς και στον Πίνακα 1.2.2 δίνονται μερικές υπηρεσίες που πιθανόν θα είναι διαθέσιμες σε δίκτυα τρίτης γενεάς.

Πίνακας 1.2.1: Πρότυπο Κινητής Τηλεφωνίας Τρίτης Γενεάς.

Πρότυπο	Περιοχή Συχνοτήτων [MHz]		Μέθοδος Πολλαπλής Πρόσβασης	Ρυθμός Ροής Δεδομένων
	Rx	Tx		
WCDMA IMT2000 UMTS	2110-2170	1920-1980	CDMA/FDM/TDM	5.6Mbps
	1900-1920			
	2010-2025			

Στο Σχήμα 1.2.1 φτιάξαμε τον τροποποιημένο χάρτης της γης σε Elliptical ή Homolographic ή Mollweide προβολή υιοθετώντας τρεις κατηγορίες για το είδος της εφαρμοζόμενης κινητής τηλεφωνίας σε κάθε περιοχή: το πρότυπο GSM ως αντιπρόσωπο της δεύτερης γενεάς, τον CDMA τρόπο πρόσβασης ως το βασικό χαρακτηριστικό της τρίτης γενεάς και τέλος περιοχές όπου υπάρχουν και οι δύο γενεές [15]. Στο Σχήμα 1.2.2 κατασκευάσαμε ένα

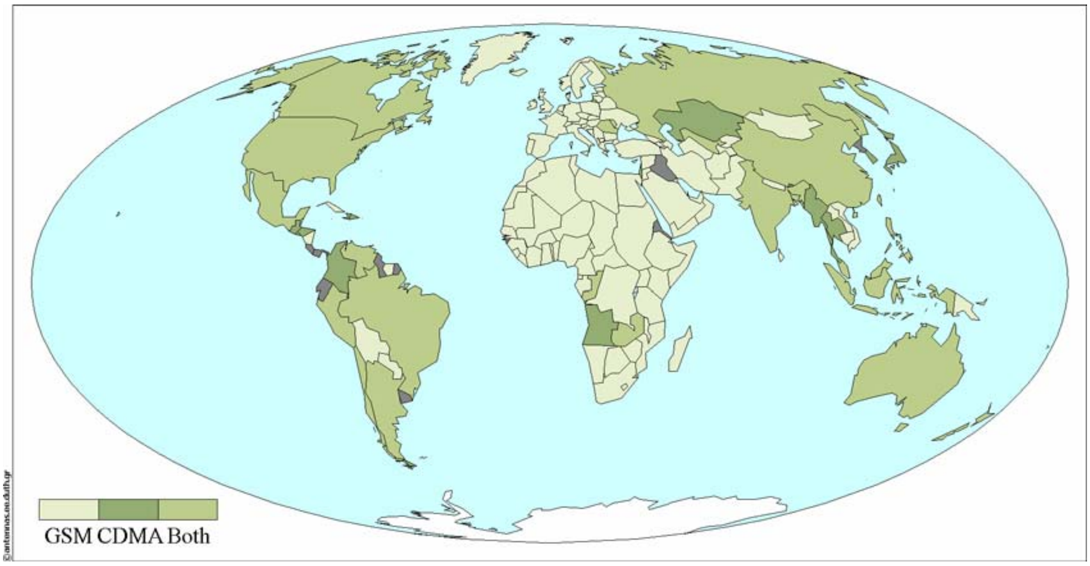
χάρτη με τις χρησιμοποιούμενες περιοχές συχνοτήτων μέχρι τα 2500 MHz για την Ευρώπη, την Αμερική και την Ιαπωνία. Τα στοιχεία και για τους δύο χάρτες αφορούν τις διαθέσιμες πληροφορίες μέχρι το Νοέμβριο του 2002.

Πίνακας 1.2.2: Υπηρεσίες Κινητής Τηλεφωνίας Τρίτης Γενεάς.

Ψυχαγωγία	www, video, ταχυδρομικές κάρτες, στιγμιότυπα, εικόνες και μηνύματα με πολυμέσα, διανομή δεδομένων, προσωπικές εφαρμογές, κονσόλα ήχου, ιδεατός σύντροφος-ζωάκι, TV, μηχανή αναπαραγωγής MP3.
Εργασία	καθαρή κλήση με εικόνα και δεδομένα, IP τηλεφωνία, διαχείριση και έλεγχος επιχειρήσεων, ανταλλαγή πληροφοριών, ημερολόγιο, ατζέντα, ταξιδιωτικός οδηγός, τηλεπαρουσία, FTP, ταχυδρομείο φωνής, έγχρωμο FAX.
Μέσα	αποστολή διαφημίσεων σε εφημερίδες και περιοδικά, ταξινόμηση.
Ψώνια	e-εμπόριο, e-εξαργύρωση, πιστωτική κάρτα, τηλετραπεζική λειτουργία, αυτόματη συναλλαγή, δημοπρασία, ψώνια με μικρο-ποσά.
Διασκέδαση	νέα, χρηματιστήριο, αθλητικά, παιγνίδια, τυχερά παιγνίδια, video, κονσέρτα, υλικό για ενηλίκους.
Εκπαίδευση	online βιβλιοθήκες, μηχανές αναζήτησης, εξ' αποστάσεως έρευνα.
Διευκολύνσεις	εξ'αποστάσεως επίβλεψη, παρακολούθηση τοποθεσίας, χρήση ανάγκης
Υγεία	τηλεϊατρική, εξ αποστάσεως διάγνωση και παρακολούθηση υγείας.
Αυτοματισμοί	αυτοματισμοί στο σπίτι, τηλεματική κυκλοφορίας, επικοινωνία μηχανών (τηλεμετρία), τηλεειδοποίηση.
Ταξίδια	πληροφορίες τοποθεσίας, οδηγός, e-εκδρομή, e-εισιτήρια, χρονοδιαγράμματα.

Σύμφωνα τώρα με το DoD (Department of Defense) των Ηνωμένων Πολιτειών στο πρότυπο IMT-2000 κινητής τηλεφωνίας τρίτης γενεάς συμπεριλαμβάνεται και η ζώνη 1700/1800MHz με την περιοχή 1850-1885MHz να διατίθεται για την υποστήριξη υπηρεσιών PCS (Personal Communication Services) και η περιοχή 1710-1755MHz να είναι σύντομα διαθέσιμη. Επίσης συζητείται η διάθεση και της ζώνης 2500-2690MHz, [16]. Διακρίνονται τρία είδη σταθμών: οι κινητοί σταθμοί χειρός (Handsets) IMT-2000 με κεραίες κέρδους 0dBi

παγκατευθυντικές, οι σταθμοί βάσης IMT-2000 με κεραίες κέρδους 17dBi ανά 120° και οι κινητοί σταθμοί IMT-2000 με κεραίες κέρδους 0dBi, δηλαδή παγκατευθυντικές (US Doc 6S/16 Rev3).



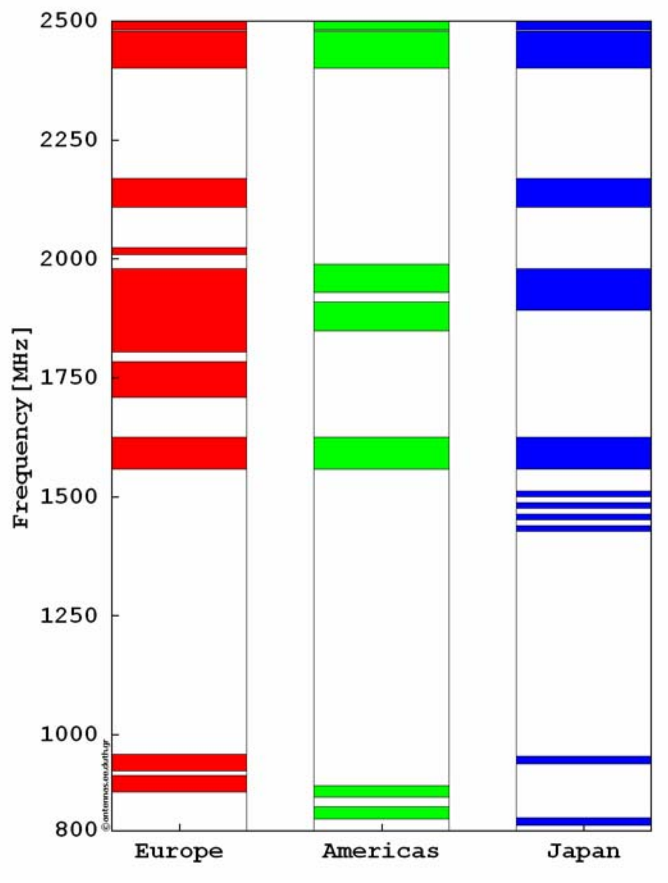
Σχήμα 1.2.1: Παγκόσμιος χάρτης προτύπων ασυρμάτων επικοινωνιών.

Τα χαρακτηριστικά που αναφέρονται αποτελούν προτάσεις αφού πολλά από τα συστήματα βρίσκονται ακόμα υπό σχεδιασμό και ανάπτυξη, και είναι σύμφωνα με τις αναφορές και τις οδηγίες της ITU-R, των βιομηχανικών ομάδων που ηγούνται της ανάπτυξης του IMT-2000 και των κανόνων της FCC για τα συστήματα δεύτερης γενεάς (PCS) κινητής τηλεφωνίας τα οποία χρησιμοποιήθηκαν ως βάση για την τρίτη γενεά, [16].

1.3 : Τυπικά Διαγράμματα Ακτινοβολίας και VSWR Κεραιών Κινητής Τηλεφωνίας Τρίτης Γενεάς.

Στα μοντέρνα συστήματα κινητών επικοινωνιών είναι επιθυμητό η κεραία της φορητής συσκευής αλλά και του σταθμού βάσης να λειτουργεί σε διπλή ζώνη όπως στις υπηρεσίες DCS-1800 (1710-1880MHz) και IMT-2000 (1885-2170MHz). Μια τέτοια κεραία είναι η κεραία τροποποιημένου βρόχου σε σχήμα παραλληλεπιπέδου με ένα μικρό κενό στο συρμάτινο βρόχο για την αύξηση του εύρους ζώνης ως προς την αντίσταση της κεραίας κατά 24%. Στο Σχήμα 1.3.1 φαίνεται η διάταξη, στο Σχήμα 1.3.2, και στο Σχήμα 1.3.3 τα

διαγράμματα ακτινοβολίας και στο Σχήμα 1.3.4 η απώλεια επιστροφής της κεραίας αυτής. Η προσομοίωση έγινε με τη χρήση της μεθόδου FDTD (finite-difference time-domain), [17].

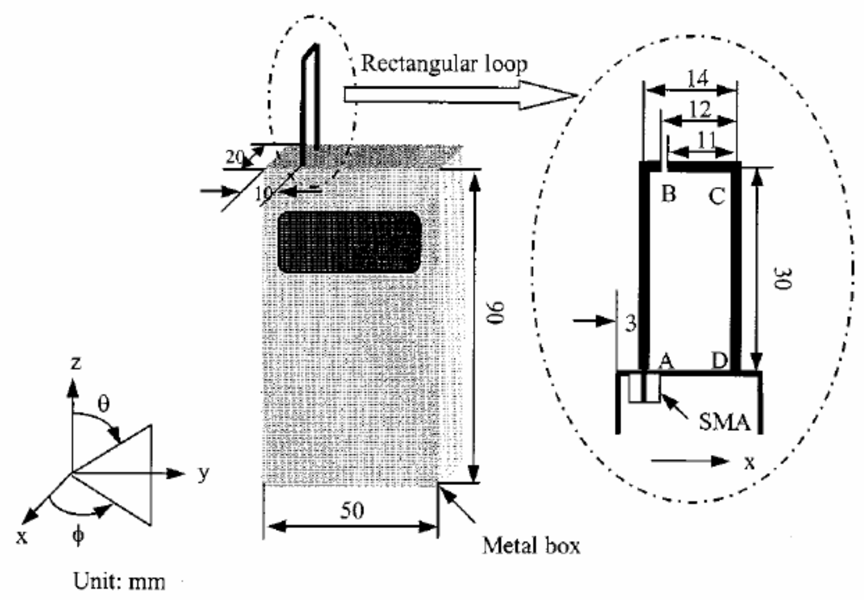


Σχήμα 1.2.2: Περιοχές συχνοτήτων για την Ευρώπη, την Αμερική και την Ιαπωνία.

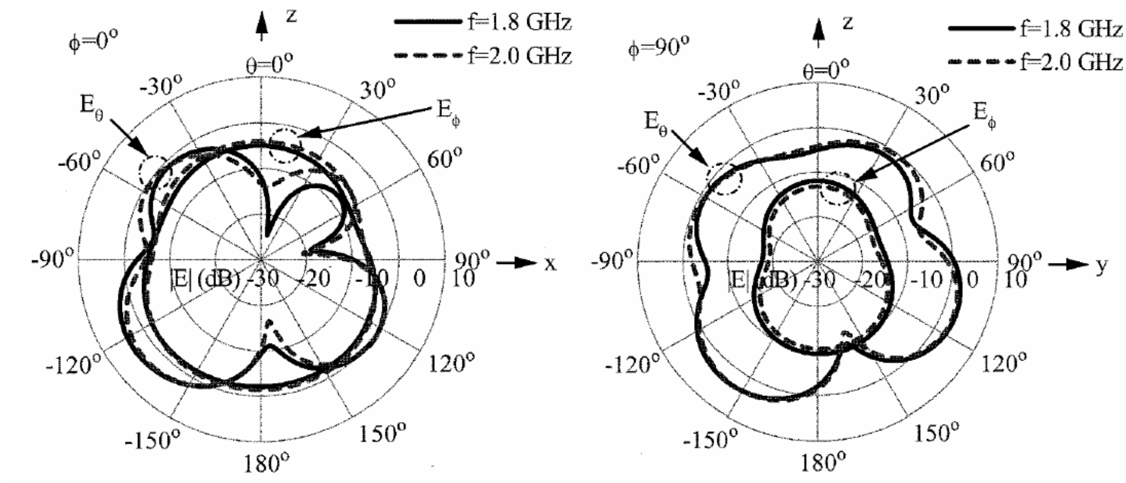
Στο Σχήμα 1.3.5 φαίνεται ένα τροποποιημένο sleeve monopole, το οποίο αποτελείται από έναν εξωτερικό σωλήνα και ένα εσωτερικό μονόπολο με δύο ράβδους διαφορετικών διαμέτρων οι οποίες εξασφαλίζουν αύξηση του εύρους ζώνης ως προς την αντίσταση 24.2% ($|\dot{S}_{11}|$ <-20dB) και πανκατευθυντικό διάγραμμα ακτινοβολίας (Σχήμα 1.3.6), [18]. Στο Σχήμα 1.3.7 δίνεται η απώλεια επιστροφής της κεραίας. Η προσομοίωση έγινε με τη χρήση του HFSS και οι μετρήσεις με τον HP8722D αναλυτή δικτυωμάτων.

Στο Σχήμα 1.3.8 φαίνεται μια κεραία από την εταιρεία Cushcraft της σειράς Dual-Band Squint Antennas με παγκατευθυντικά διαγράμματα που προορίζεται για λειτουργία στην περιοχή συχνοτήτων από 806MHz έως 1990MHz με κέρδος 3.5dBi. Οι κεραίες είναι διαθέσιμες για τοποθέτηση σε οροφή ή σε κατακόρυφη διάταξη και έχουν διαστάσεις 25.7x25.7x3.8cm, [19].

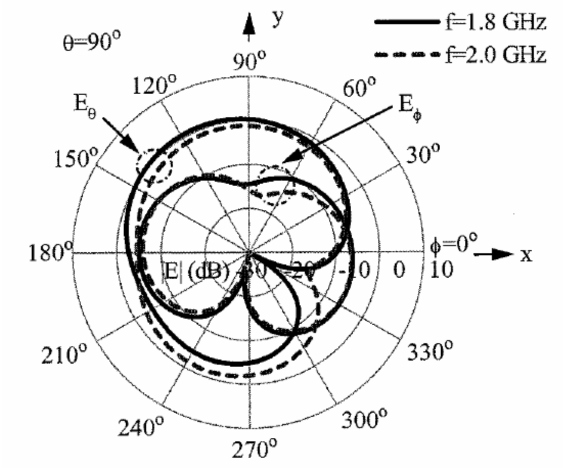
Ως πιο πρόσφατη εφαρμογή παραθέτουμε στο Σχήμα 1.3.9 τη σχηματική παράσταση και το VSWR, στο Σχήμα 1.3.10 το πραγματικό και φανταστικό μέρος της αντίστασης εισόδου για διάφορες διαμορφώσεις της κεραίας και στο Σχήμα 1.3.11 τα διαγράμματα ακτινοβολίας σε δύο συχνότητες που αφορούν πολυζωνική τυπωμένη κεραία που προτείνεται για την Τρίτη γενεά κινητής τηλεφωνίας τον Ιούλιο του 2003, [20]. Η κεραία μπορεί να καλύψει τις περιοχές AMPS 800 (824-894MHz), GSM 900 (880-960MHz) και GSM 1900 (1850-1990MHz) με VSWR ως προς χαρακτηριστική αντίσταση 50Ω μέσα στο όριο του 2.5:1.



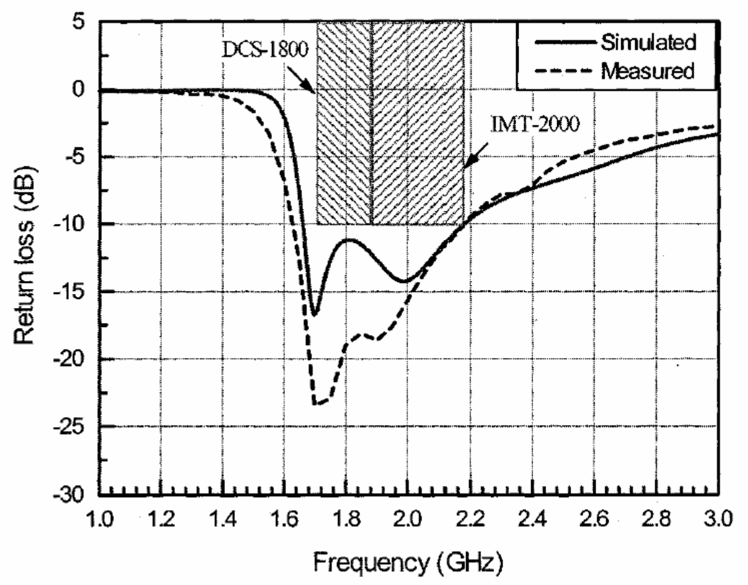
Σχήμα 1.3.1: Κεραία βρόχου σε μεταλλικό κουτί, [17].



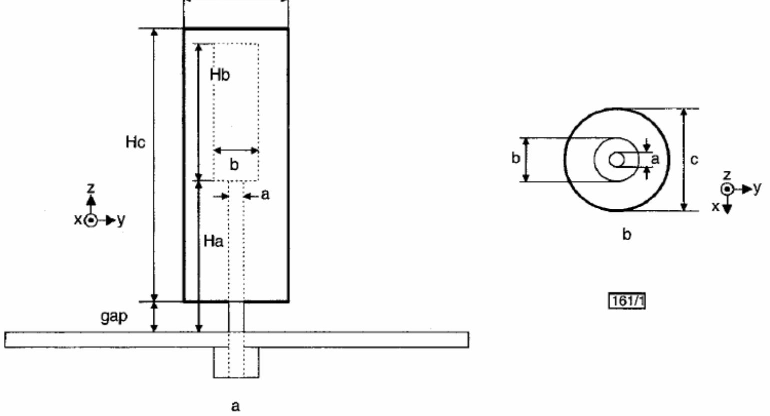
Σχήμα 1.3.2: Διαγράμματα ακτινοβολίας στα zOx και yOz επίπεδα από προσομοίωση, [17].



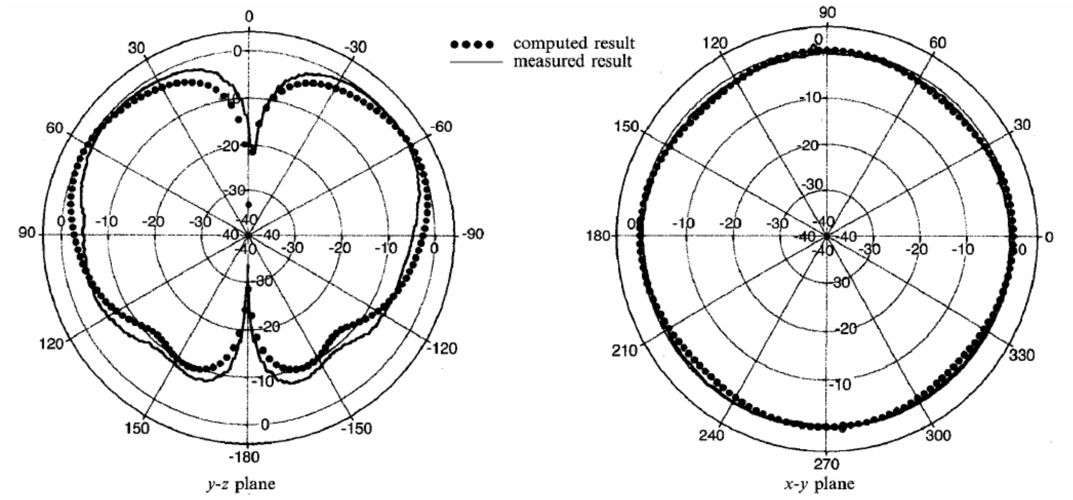
Σχήμα 1.3.3: Διάγραμμα ακτινοβολίας στο xOy επίπεδο από προσομοίωση, [17].



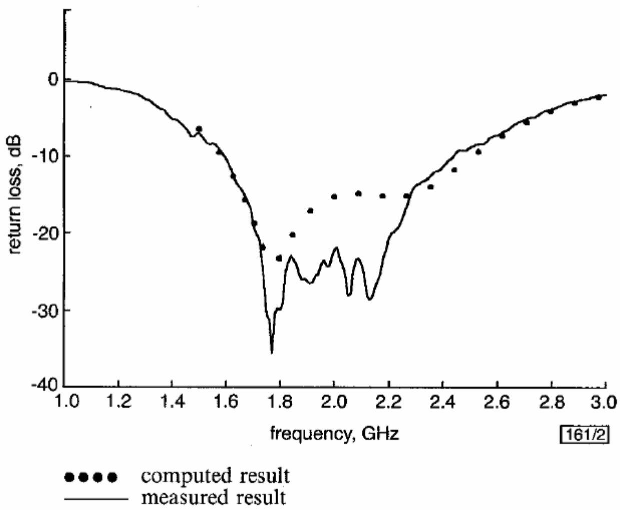
Σχήμα 1.3.4: Απώλεια Επιστροφής της κεραίας τροποποιημένου βρόχου, [17].



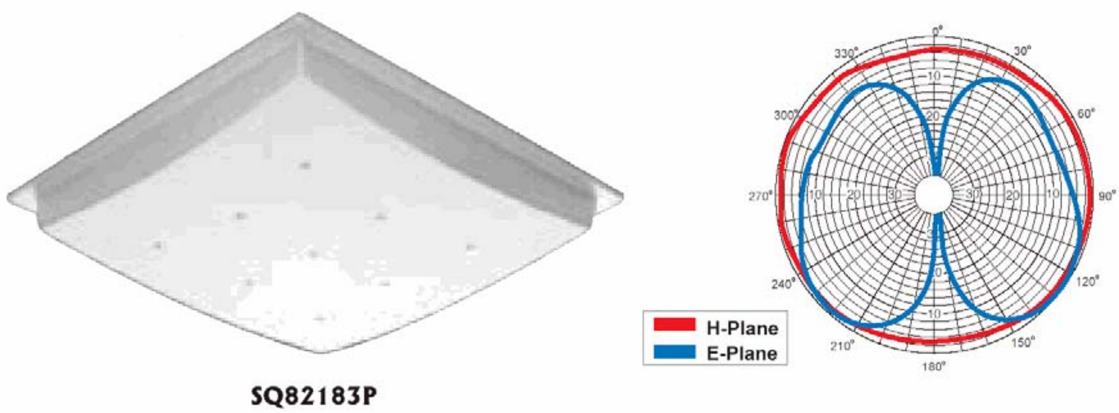
Σχήμα 1.3.5: Κεραία τύπου sleeve monopole. (a) από μπροστά και (b) από πάνω όψεις, [18].



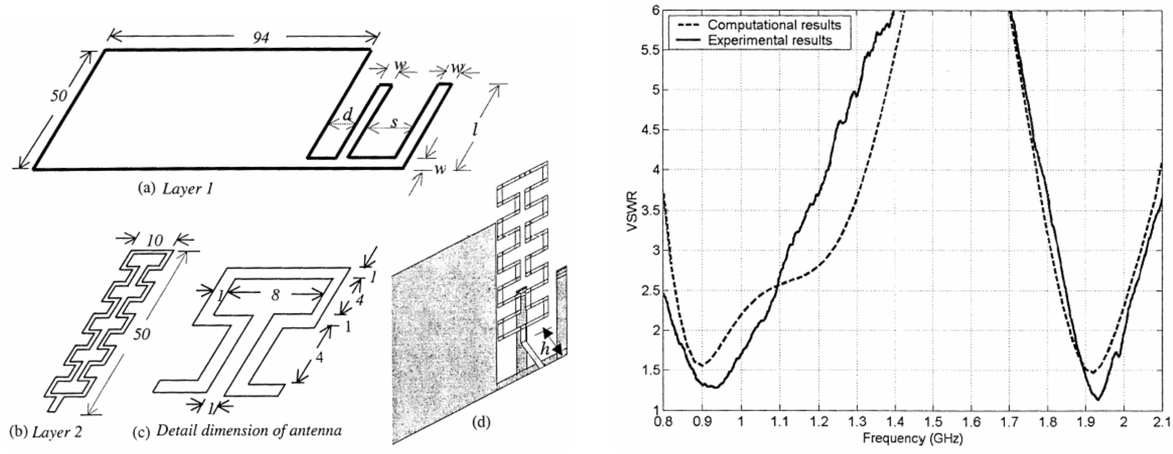
Σχήμα 1.3.6: Διαγράμματα ακτινοβολίας στα yOz και xOy επίπεδα, [18].



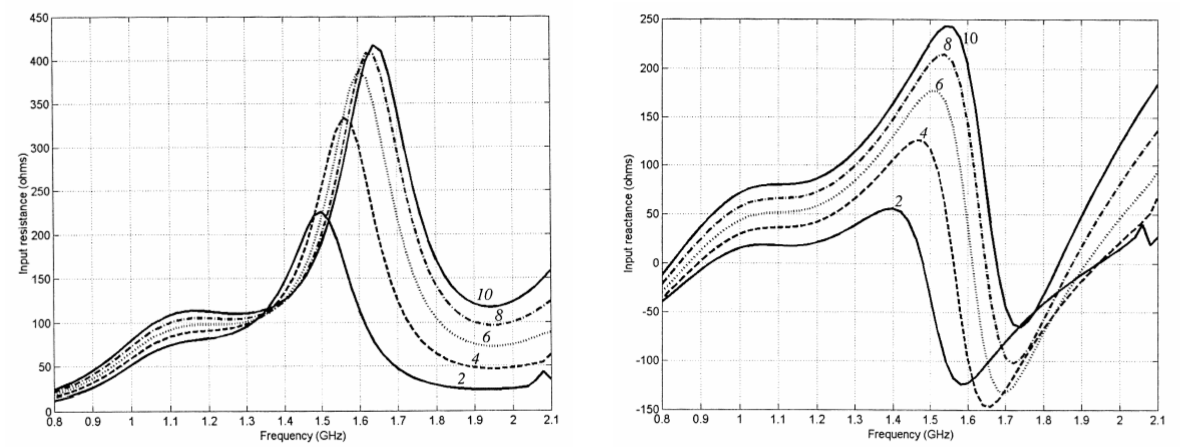
Σχήμα 1.3.7: Απώλεια Επιστροφής της Sleeve Monopole κεραίας, [18].



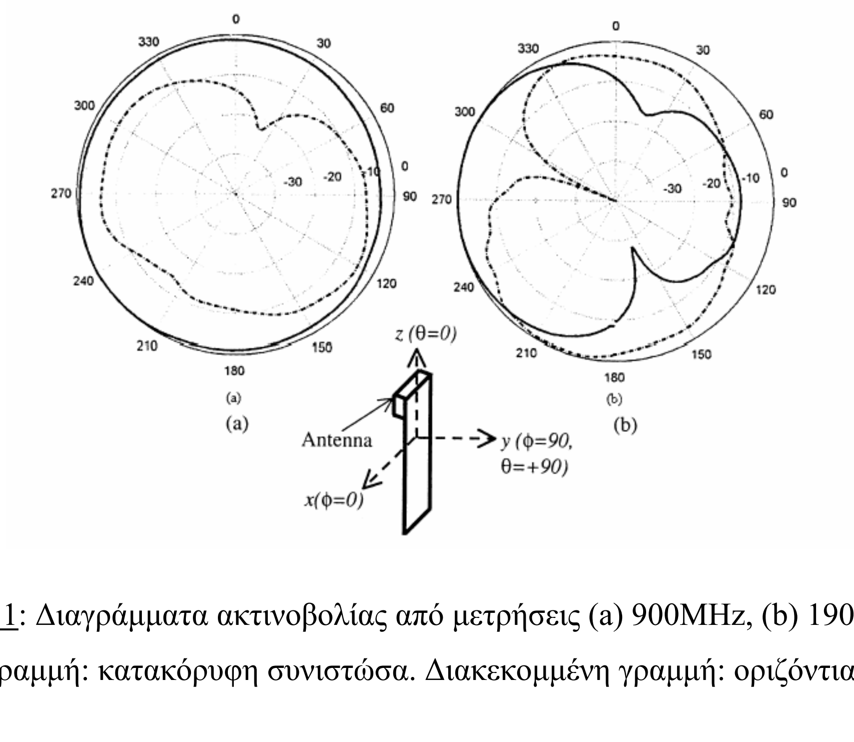
Σχήμα 1.3.8: Κεραία και Διαγράμματα ακτινοβολίας, [19].



<u>Σχήμα 1.3.9</u>: Γεωμετρία της κεραίας και VSWR, [20].



<u>Σχήμα 1.3.10</u>: Αντίσταση εισόδου για διάφορες διαμορφώσεις της κεραίας από προσομοίωση.

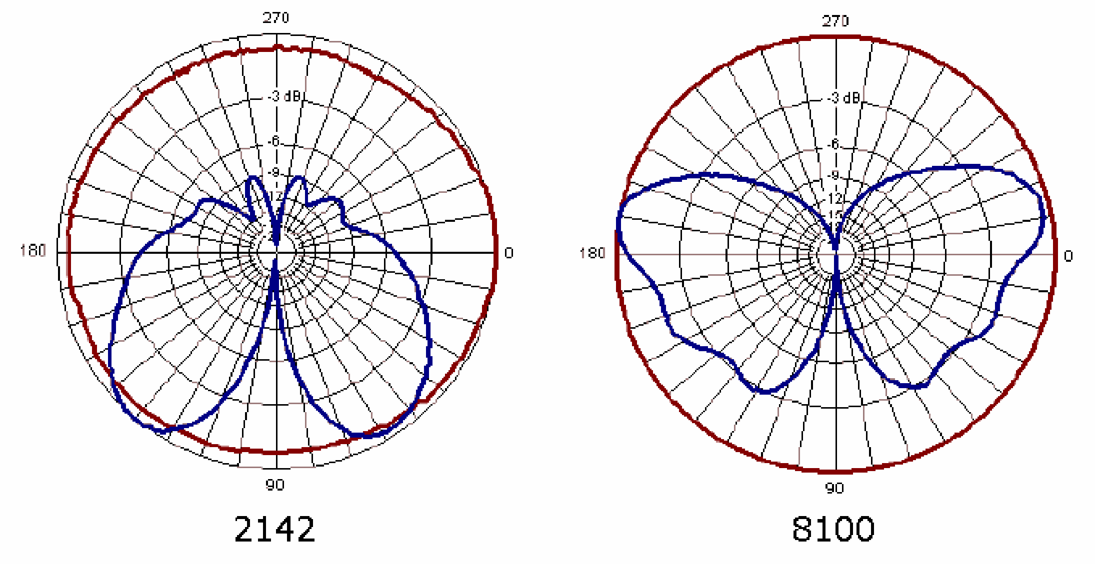


<u>Σχήμα 1.3.11</u>: Διαγράμματα ακτινοβολίας από μετρήσεις (a) 900MHz, (b) 1900MHz, [20].
Συμπαγής γραμμή: κατακόρυφη συνιστώσα. Διακεκομμένη γραμμή: οριζόντια συνιστώσα.

Τέλος, στον Πίνακα 1.3.1 δίνονται τα χαρακτηριστικά κεραιών για την τρίτη γενεά κινητής τηλεφωνίας από την αγγλική εταιρεία Racal Antennas, [21]. Όλες οι κεραίες έχουν κατακόρυφη πόλωση, παγκατευθυντικό διάγραμμα ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.3.12 για τα μοντέλα 2142 και 8100, συνδετήρα τύπου N-θηλυκό και είναι κατάλληλες για χρήση σε κτίρια και σε σταθμούς βάσης μικροκυψελίδων (microcell περιοχή με διάμετρο 1609 μέτρα ή 2 μίλια).

Πίνακας 1.3.1: Χαρακτηριστικά κεραιών για την κινητή τηλεφωνία της Racal Antennas.

Τύπος Κεραίας	Περιοχή Συχνοτήτων [MHz]	Κέρδος [dBi]	VSWR	Διαστάσεις mm
1770	1710-1880	2.0	1.30:1	150x20x20
2141	870-960 1710-1880	2.0	1.65:1	210x80x90
2142	1850-1990	2.0	1.67:1	203x102x76
2143	1900-2170	2.0	1.65:1	210x80x90
8100	1850-1990	2.0	1.30:1	152x20x20
FO456	890-960 1710-1880 1880-2170	2.0 4.0 4.0	1.50:1 1.50:1 2.00:1	205x205x67



Σχήμα 1.3.12: Διαγράμματα ακτινοβολίας κεραιών της Racal Antennas εταιρείας, [21].

1.4 : Η κεραία Discone και η Κινητή Τηλεφωνία Τρίτης Γενεάς.

Μετά από την παραπάνω σύντομη έκθεση της ρευστής κατάστασης στο χώρο της κινητής τηλεφωνίας και γενικότερα της ασύρματης επικοινωνίας, συγκεντρώνουμε το ενδιαφέρον μας στο αντικείμενο της εργασίας μας που είναι η κατασκευή κεραίας κατάλληλης να υποστηρίξει την κινητή τηλεφωνία τρίτης γενεάς. Οι βασικοί στόχοι είναι δύο: αφενός η κάλυψη περισσοτέρων της μιας ζωνών με την ίδια κεραία και ειδικότερα η εξυπηρέτηση και της “παλιάς” GSM και της “νέας” UMTS γενεάς εάν είναι δυνατόν, και αφετέρου παγκατευθυντικό διάγραμμα ακτινοβολίας όπως φαίνεται και από τα τυπικά διαγράμματα των (Σχ.1.3.2), (Σχ.1.3.3), (Σχ.1.3.6), (Σχ.1.3.8) (Σχ.1.3.11) και (Σχ.1.3.12).

Αναζητώντας μια κεραία που να ικανοποιεί τους δύο αυτούς στόχους μας αποφασίσαμε να δοκιμάσουμε την Discone, [22], η οποία αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα ευρυζωνικής, παγκατευθυντικής κεραίας με άμεση προσαρμογή στη χαρακτηριστική αντίσταση των γραμμών μεταφοράς 50Ω, χωρίς καμιά ανάγκη παρεμβολής συστήματος προσαρμογής. Η απόφαση αυτή βασίστηκε στην εξαντλητική έρευνα της βιβλιογραφίας αλλά και σε διπλωματική εργασία του εργαστηρίου κεραιών, [23], της οποίας την υποστήριξη είχα αναλάβει. Στη συνέχεια παραθέτουμε μια συνοπτική έκθεση των λημμάτων της βιβλιογραφίας.

Κεφάλαιο 2 : Η κεραία Discone στη Βιβλιογραφία.

2.1 : Εισαγωγή.

Στην προσπάθειά μας να συγκεντρώσουμε όσο το δυνατόν περισσότερες πληροφορίες για την κεραία Discone προχωρήσαμε σε εκτεταμένη έρευνα στη διαθέσιμη βιβλιογραφία. Η έρευνα περιελάμβανε αναζήτηση στο διαδίκτυο, αναζήτηση στα υπάρχοντα βιβλία και στην Βιβλιοθήκη της Πολυτεχνικής Σχολής αλλά και σε πέντε βάσεις δεδομένων περιοδικών του εργαστηρίου Κεραιών. Αυτές ήταν:

Οι επιστημονικές:

1. AP-S Digital Archive 1952-2000 που περιλαμβάνει τα περιοδικά:
   IEEE Transactions on Antennas and Propagation
   IEEE Antennas & Propagation Magazine/Newsletter
   IEEE Antennas & Propagation Society International Symposium Digests and …predecessors
2. MTTS Microwave Theory and Techniques Society που περιλαμβάνει όλα τα περιοδικά του IEEE Microwave Theory and Techniques Society
3. MIT Radiation Laboratory Series 1999.

Οι ραδιοερασιτεχνικές:

4. QST: Back Issues of QST on CD-ROM 1915-1999.
5. QEX: The QEX Collection CD-ROM 1981-1998, 1999, 2000.

Η αναζήτηση στο διαδίκτυο έδωσε το Νοέμβριο του 2002 ~3000 αναφορές για την λέξη “discone” από τη βάση www.google.com και ~3300 από τη βάση www.alltheweb.com, ενώ

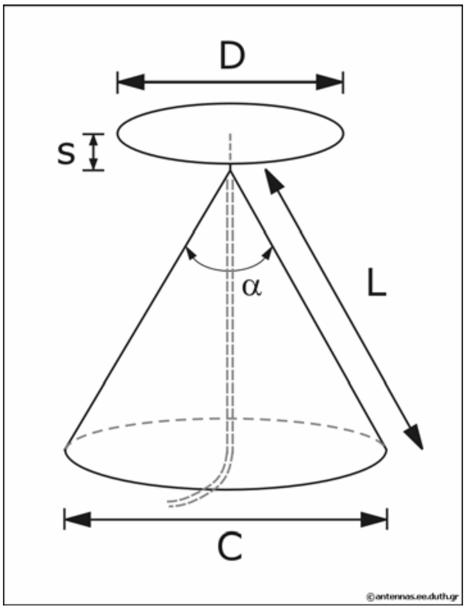
το Σεπτέμβριο του 2003 οι αναφορές στην πρώτη βάση αυξήθηκαν σε ~4000. Η φράση "skeleton discone" ;έδωσε μόλις 4 αναφορές.

Τέλος, από την British Library προμηθευτήκαμε μέσω της Βιβλιοθήκης της Πολυτεχνικής Σχολής τη δημοσίευση του A.G.Kandoian [24], από την Βιβλιοθήκη του ΕΜΠ τη δημοσίευση του J.J.Nail [25] και από τον ίδιο τον T.S.Rappaport [26], μετά από e-mail επικοινωνία την εργασία που παρουσίασε στο Antenna Application Symposium, Allerton Park, IL, το Σεπτέμβριο του 1987, κάτοχο σχετικής ευρεσιτεχνίας.

Στα πλαίσια αυτής της διατριβής κρίθηκε σκόπιμο να περιοριστούμε στην παράθεση μιας σύντομης μόνο αναφοράς στα σημεία εκείνα, αυτού του όγκου πληροφοριών, που κατά τη γνώμη μας είναι πιο σημαντικά για την παραπέρα ανάπτυξη του θέματος.

2.2 : Η κεραία Discone.

Η κεραία Discone αναπτύχθηκε από τον Armig G. Kandoian το 1945 και ανακοινώθηκε σε εργασία το Φεβρουάριο του 1946 με 2 εφαρμογές, [24]. Είναι μια κεραία που αποτελείται, όπως δηλώνει και το όνομά της, από έναν δίσκο και έναν κώνο, Σχήμα 2.2.1.



Σχήμα 2.2.1: Αρχική γεωμετρία μιας κεραίας Discone.

Η κορυφή του κώνου συνδέεται στον εξωτερικό αγωγό ομοαξονικής γραμμής τροφοδοσίας. Ο εσωτερικός αγωγός της γραμμής τερματίζεται στο κέντρο του δίσκου ο οποίος είναι κάθετος στον άξονα του κώνου και της γραμμής μεταφοράς. Είναι κεραία με κατακόρυφη πόλωση και δίνει παγκατευθυντικό διάγραμμα ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο. Συμπεριφέρεται βασικά ως ένα κατακόρυφο δίπολο αλλά τα χαρακτηριστικά που την διακρίνουν είναι η απλότητα της κατασκευής και της τροφοδοσίας και η ικανοποιητική λειτουργία σε μια ευρεία περιοχή συχνοτήτων (αρκετές οκτάβες) με μικρή μεταβολή της αντίστασης εισόδου και του διαγράμματος ακτινοβολίας.

Κυκλωματικά, συμπεριφέρεται ως υψηπερατό φίλτρο. Έχει μια συχνότητα αποκοπής κάτω από την οποία εμφανίζονται πολλά στάσιμα κύματα στη γραμμή τροφοδοσίας ενώ πάνω από αυτήν υπάρχει μικρή αποπροσαρμογή και το διάγραμμα ακτινοβολίας παραμένει αμετάβλητο για μεγάλη περιοχή συχνοτήτων.

Στην εργασία αυτή, [24], Kandoian αναφέρει ότι το απόστημα του κώνου L είναι περίπου λ/4 στη συχνότητα αποκοπής, και δεν δίνει καμιά άλλη τυποποίηση για τις διαστάσεις της Discone. Προτείνει μια εφαρμογή της με γειωμένο επίπεδο και τη χαρακτηρίζει ως το ενδιάμεσο ενός συνήθους διπόλου και μιας χοάνης για τη λειτουργία της στις χαμηλότερες και στις αρκετά υψηλότερες συχνότητες αντίστοιχα.

Οκτώ χρόνια αργότερα, το 1953, ο J.J.Nail προχωρεί σε τυποποίηση των διαστάσεων της Discone μετά από πειραματική εργασία, [25]. Προτείνει για την Discone του Σχήματος 2.2.2

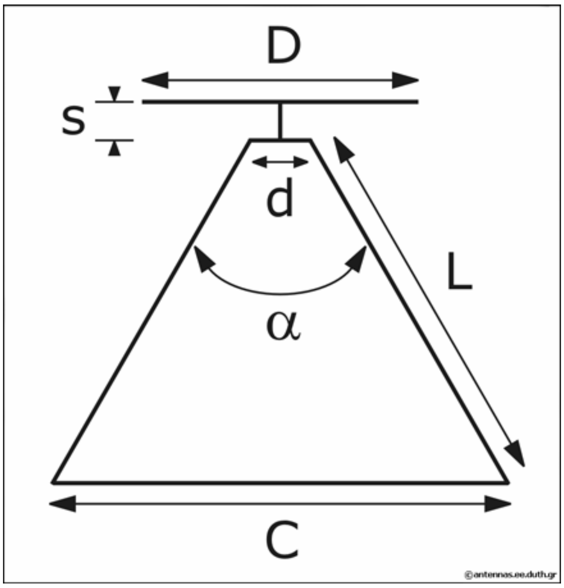
$$D = 0.7 \cdot C, \quad s = 0.3 \cdot d \tag{2.2.1}$$

ανεξαρτήτως των L και α. Το εύρος ζώνης είναι αντιστρόφως ανάλογο του d. Στην εργασία του μελέτησε Discones με γωνία κώνου α 25°, 35°, 50°, 60°, 70° και 90° και σταθερό $C = 0.4'$ (1.016 cm). Κατέληξε στο συμπέρασμα ότι για μικρές γωνίες α το απόστημα L του κώνου προσεγγίζει το λ/2 αντί του λ/4, ότι το διάγραμμα ακτινοβολίας παραμένει σχεδόν σταθερό για συχνότητες μέχρι 1.5 φορές τη συχνότητα αποκοπής και ότι μικρές αλλαγές των λόγων s/d, D/C δεν το επηρεάζουν. Υποθέτει ότι μεγαλύτερες γωνίες α ($\alpha \geq 90^\circ$) θα δώσουν καλύτερο διάγραμμα ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο από ότι οι μικρότερες.

Αναφέρεται στον Kandoian αλλά και σε εργασίες των ραδιοερασιτεχνών Joseph M. Bower, W6UYH (Radio Amateur Call-Sign), Mack Seybold, W2RYI στο περιοδικό CQ το 1950. Στη συνέχεια η Discone χρησιμοποιήθηκε ευρέως, ιδίως από τους ραδιοερασιτέχνες όπως θα διαπιστώσουμε παρακάτω, με την τυποποίηση αυτή του Nail στην οποία προστέθηκαν, (δεν γνωρίζουμε από ποιον και πότε), δύο συνθήκες για βέλτιστο σχεδιασμό:

$$\frac{L}{d} > 22 \quad \text{και} \quad \alpha = 60^\circ \tag{2.2.2}$$

όπου τα σύμβολα L, d, α ορίζονται όπως στο (Σχ.2.2.2).



Σχήμα 2.2.2: Παράμετροι της κεραίας Discone.

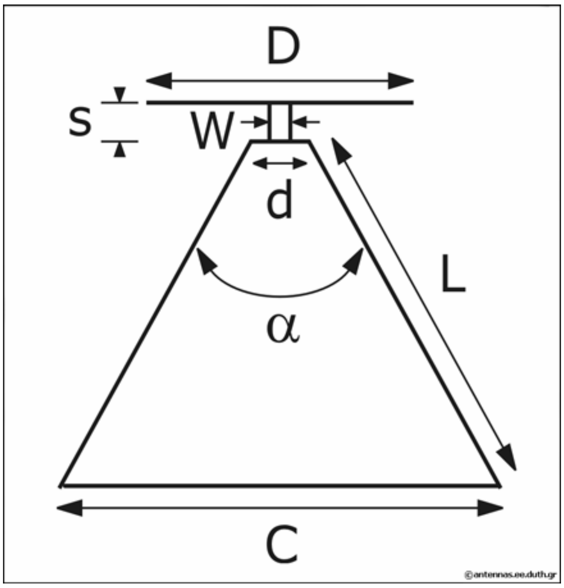
Μεγάλη ερευνητική εργασία για την Discone έγινε ξανά το 1987 από τον Theodore S. Rappaport και αφορούσε την κατασκευή Discone κεραιών για χρήση στα UHF (1.2-2.0GHz) με σύστημα τροφοδοσίας με συνδετήρες τύπου N, [27]. Οι κεραίες ήταν μέρος ενός ευρυζωνικού συστήματος πολλαπλών διαδρομών εσωτερικού χώρου (wide band indoor multipath system) που αποτέλεσε και το αντικείμενο της διδακτορικής του διατριβής. Πειράματα έγιναν με 70 κεραίες όπου αποδείχθηκε ότι η τυποποίηση του Nail δεν ήταν ικανή να καλύψει την περίπτωση όπου το d είναι μεγάλο, της τάξης του $\lambda_c/10$ με λ_c το μήκος κύματος στη συχνότητα αποκοπής. Επίσης, οι εκτεταμένες μετρήσεις της απώλειας επιστροφής έδειξαν ότι μεγάλο ρόλο παίζει το πάχος w του αγωγού μεταξύ του κώνου και του δίσκου για το οποίο κανείς άλλος δεν είχε αναφέρει τίποτα, (Σχήμα 2.2.3).

Η νέα τυποποίηση που προτείνει ο Rappaport είναι:

$$\begin{aligned} s &= 0.5\cdot d \quad & w &= 0.33\cdot d \\ D &= 0.75\cdot C \quad & L &= 1.15\cdot\frac{\lambda_c}{4} \end{aligned} \tag{2.2.3}$$

όπου τα σύμβολα s, w, d, D, C, και L ορίζονται όπως στο (Σχ.2.2.3).

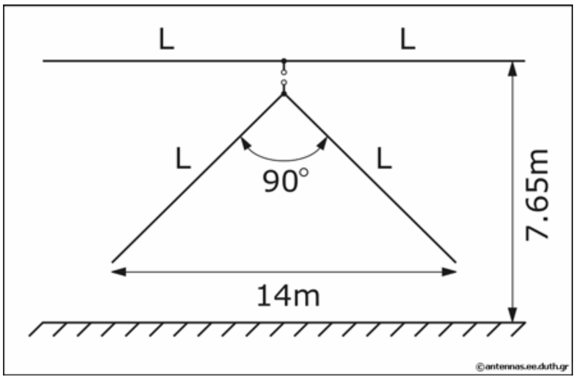
Οι κεραίες που κατασκευάστηκαν με βάση αυτή την τυποποίηση χρησιμοποιούν συνδετήρα τύπου N-αρσενικό UG-21D/U, έχουν γωνία κώνου 45°, 60°, 75° και 90° και επιτυγχάνουν λόγο στασίμων κυμάτων τάσης VSWR<1.5 σε μια οκτάβα. Επιπλέον ρύθμιση για καλύτερη προσαρμογή μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση βιδωτού παξιμαδιού, [26].



Σχήμα 2.2.3: Παράμετροι της κεραίας Discone για μεγάλο d.

2.3 : Η κεραία Discone και οι ραδιοερασιτέχνες. Skeleton Discone.

Η πρώτη αναφορά, από τις διαθέσιμες, γίνεται σε άρθρο του Mike Wintzer, PA0MWI/DJ4GA, το 1974, [28]. Εκεί η Discone παρομοιάζεται με χοάνη κυματοδηγού και μέγιστο VSWR 2:1 με γραμμή τροφοδοσίας 50Ω σε 10:1 εύρος συχνοτήτων. Οι χαμηλές συχνότητες, HF, συνεπάγονται μεγάλες διαστάσεις για την κεραία, αφού για παράδειγμα στα 10MHz το ένα τέταρτο του μήκους κύματος λ ισούται με 7.5m, που καθιστούν δύσκολη έως αδύνατη την κατασκευή και τη στήριξή της. Για το λόγο αυτό επιχειρείται κατασκευή της Discone με σύρματα σε διάφορες διαμορφώσεις ακόμη και με συρμάτινο παραλληλεπίπεδο στη θέση του δίσκου. Στο ίδιο άρθρο παρουσιάζεται η απλοποιημένη Discone του Σχήματος 2.3.1 γνωστή ως κεραία DJ4GA από τον κατασκευαστή της.



Σχήμα 2.3.1: Μία διαμόρφωση της DJ4GA απλοποιημένης Discone κεραίας.

Το 1975 ο John S. Belrose, VE2CV/VE3DRC, χρησιμοποιεί την τυποποίηση Nail για τις διαστάσεις της κεραίας και παρατηρεί ότι εμφανίζει καλύτερη προσαρμογή σε μια 10:1 περιοχή συχνοτήτων και μικρή αλλαγή στο διάγραμμα ακτινοβολίας σε μια 3 ή 4:1 περιοχή συχνοτήτων, [29], [30]. Γίνεται επίσης διάκριση μεταξύ της f_c συχνότητας αποκοπής και της f_{min} χαμηλότερης συχνότητας λειτουργίας. Έτσι, το απόστημα του κώνου L είναι ~λ/4 για την f_c και το κατακόρυφο ύψος του κώνου είναι ~λ/4 στην f_{min}. Γίνεται αναφορά σε συρμάτινη Discone όπου χρησιμοποιούνται 8 ακτίνες για τον δίσκο αλλά και σύρματα που ενώνουν τα άκρα των ακτίνων του δίσκου και του κώνου. Θεωρείται καλύτερη σε απόδοση από την οριζόντια Log-Periodic κεραία για επικοινωνίες με κινητούς σταθμούς και με κέρδος όχι μεγαλύτερο από 2.14dBi του διπόλου λ/2.

Το 1978 ο David Gelser, WA2ANU, προτείνει μια Discone με συρμάτινο πλέγμα ακολουθώντας την τυποποίηση του Nail, με μια μικρή αλλαγή, [31]:

$$L = 110\% \cdot \frac{\lambda}{4} \quad D = 66\% \cdot \frac{\lambda}{4} \tag{2.3.1}$$

όπου τα σύμβολα L και D ορίζονται στο (Σχ.2.2.2).Ο ίδιος αλλάζει αργότερα τις διαστάσεις σε αυτές ακριβώς του Nail, [32]. Εάν η κεραία αναστραφεί μετατρέπεται σε κωνικό μονόπολο. Τη θεωρεί κατάλληλη για κινητές επικοινωνίες και ως κεραία επαναλήπτη και τη χαρακτηρίζει μετασχηματιστή μεγάλου εύρους προσαρμογής αντίστασης για τη σύζευξη της χαμηλής αντίστασης της γραμμής μεταφοράς με την υψηλότερη αντίσταση του ελευθέρου χώρου, κάτι που αποδείχθηκε εντελώς ψευδές, [33].

Το 1994 ο Dave Miller, NZ9E, χρησιμοποιεί μια Discone με 8 ακτίνες για τον δίσκο και 8 για τον κώνο στη περιοχή συχνοτήτων VHF/UHF (50-1300MHz) επανεκτιμώντας τα ευρυζωνικά χαρακτηριστικά της, [34].

Οι William Sheets, K2MQJ και Rudolf F. Graf, KA2CWL, υιοθετούν την Discone για σαρωτές (scanners) συχνοτήτων στα UHF. Περιορίζουν την περιοχή συχνοτήτων από 10:1 σε 3:1 για καλύτερη απόδοση και προτείνουν Discone με 16 ακτίνες για τον δίσκο και τον κώνο χωρίς να αποκλείουν και τις 8 ακτίνες, [35]. Δίνουν επίσης πολλές κατασκευαστικές πληροφορίες για τη συμπαγή Discone. Η κεραία που περιγράφουν προοριζόταν να καλύψει την ζώνη 700-2000MHz, χρησιμοποιήθηκε όμως με επιτυχία και ως κεραία για πειραματικές ερασιτεχνικές εκπομπές TV στα 900 και 1300MHz, [36].

Ο Daniel A. Krupp, W8NWF, χρησιμοποιεί και αυτός την τυποποίηση του Nail και κάνει εκτεταμένη αναφορά στους J.M.Boyer και M.Seybold από όπου διαπιστώνουμε ότι οι Discones που κατασκευάζονταν από τους ερασιτέχνες ήταν στην πλειοψηφία τους συρμάτινες για τα HF, [37].

Ο Frank Kamp, K5DKZ, το 1993, περιγράφει την Discone που κατασκεύασε με 12 συνολικά σύρματα, 6 για τον κώνο και 6 για τον δίσκο, με συνδετήρα PL-259 και γραμμή τροφοδοσίας 52Ω, [38]. Αναφέρει ότι η κεραία αυτή έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως ως κεραία βάσης από υπηρεσίες ανάγκης όπως η αστυνομία, η πυροσβεστική, τα νοσοκομειακά.

Ο Wilson Cooke, WA4RHT, το 1993, είναι ο πρώτος ραδιοερασιτέχνης που χρησιμοποιεί τον χαρακτηρισμό Skeleton Discone για τις συρμάτινες Discones που κατασκεύασε, [39]. Αναφέρει Discones με 8 σύρματα για τον κώνο και 8 για τον δίσκο με 60° γωνία κώνου και τις κεραίες που περιγράφονται στο ARRL Antenna Book, [40], με 8 οριζόντιες ακτίνες αλουμινίου και 24 χάλκινα σύρματα για τον κώνο και στο Radio Handbook, [41], με τον κώνο να αποτελείται από 48 σύρματα. Όλες οι κεραίες φέρουν κυκλικούς δακτυλίους που συνδέουν τα άκρα των ακτίνων του δίσκου και του κώνου.

Ο Cooke προχώρησε στην κατασκευή αρκετών Skeleton Discones στην περιοχή των VHF χρησιμοποιώντας BNC συνδετήρες με γραμμή τροφοδοσίας RG-58, 50Ω και μετρούσε το VSWR με ραδιοερασιτεχνικό εξοπλισμό στην περιοχή 70-320MHz. Δοκίμασε διαμορφώσεις των 8, 6, 4 και 3 ακτίνων σε διάφορους συνδυασμούς, χωρίς δακτυλίους και για την περίπτωση των 8 ακτίνων για το δίσκο και τον κώνο κατασκεύασε κεραία και με δακτυλίους. Οι Skeleton Discones συγκρίθηκαν τόσο με συμπαγείς Discones όσο και με κατακόρυφα μονόπολα λ/4 πάνω από τέλεια αγώγιμο επίπεδο. Κατέληξε στα εξής συμπεράσματα:

1. Η χαμηλή συχνότητα αποκοπής της Skeleton Discone χωρίς δακτυλίους είναι σημαντικά υψηλότερη της αντίστοιχης συμπαγούς Discone. Αυτό συνεπάγεται το απόστημα L του κώνου να ισούται με το λ/3 στην f_c και όχι με λ/4 όπως απαιτεί η τυποποίηση του Nail.

2. Η σύνδεση δακτυλίων στα άκρα των ακτίνων μπορεί να οδηγεί σε μείωση του μεγέθους της κεραίας αλλά συνεπάγεται ελαφρώς υψηλότερο VSWR και πρόσθετα κατασκευαστικά προβλήματα αφού απαιτεί τη χρήση περισσοτέρων ακτίνων.
3. Για τα VHF συνιστάται η διαμόρφωση της Discone με 8 ακτίνες τόσο για τον δίσκο όσο και για τον κώνο ή και περισσότερες για επίπεδη καμπύλη VSWR.
4. Εξαιτίας των κοιλιών και κορυφών στην καμπύλη του VSWR μιας Skeleton Discone είναι δυνατόν να σχεδιαστεί μια κεραία με σημεία χαμηλού VSWR στην περιοχή συχνοτήτων που ενδιαφέρει.

2.4 : Η κεραία Discone στα βιβλία.

Η κεραία Discone προκύπτει με αντικατάσταση του ενός τμήματος μιας Biconical κεραίας από δίσκο, με συμπεριφορά ως προς την αντίσταση παρόμοια της Biconical, [42]. Καλύτερα χαρακτηριστικά λαμβάνονται για γωνία κώνου 60°. Το ύψος του κώνου πρέπει να είναι τουλάχιστον λ/3 στην χαμηλότερη συχνότητα λειτουργίας. Η διάσταση του δίσκου D έχει μεγάλη επίδραση στο διάγραμμα ακτινοβολίας καθώς αλλάζει η συχνότητα. Ένας πολύ μικρός δίσκος στρέφει το διάγραμμα ακτινοβολίας προ τον κώνο, [43].

Η Discone και οι παραλλαγές της είναι η πιο κοινώς χρησιμοποιούμενη χαμηλού κέρδους, μεγάλου εύρους, κεραία για σταθμούς βάσης. Το όριο της υψηλότερης συχνότητας καθορίζεται σχεδόν αποκλειστικά από την ακρίβεια με την οποία διατηρείται η κωνική γεωμετρία κοντά στο σημείο τροφοδοσίας. Οι Discones μπορούν να κατασκευαστούν είτε με τον δίσκο ή με τον κώνο προς τα επάνω ή και με 2 κώνους όπου ο δεύτερος έχει μεγάλη γωνία κορυφής, [44].

Εάν f_0 είναι η συχνότητα για την οποία το L ισούται με λ/4 τότε η χαμηλότερη συχνότητα λειτουργίας f_{min} τείνει προς την f_0 καθώς η γωνία του κώνου τείνει στις 60°. Για να μην υπερβαίνει το VSWR το 2:1 στα 50Ω πρέπει να ισχύει ο Πίνακας 2.4.1, [45]:

Πίνακας 2.4.1: Σχέση της f_{min} με τη γωνία του κώνου α.

α [°]	25	35	60	70	90
$\frac{f_{min}}{f_0}$	1.27	1.16	1.14	1.22	1.34

Οι Discones κεραίες κατασκευάζονται με ακτινικά στοιχεία για τον δίσκο και τον κώνο για την κάτω περιοχή των VHF. Αυτό είναι απαραίτητο για τη μείωση του βάρους και την επίδραση του ανέμου και επίσης επιτρέπει φορητές εγκαταστάσεις. Βρέθηκε ότι είναι χρήσιμο να συνδεθούν οι ακτίνες και στον δίσκο και στον κώνο με αγώγιμα δαχτυλίδια κοντά όμως στο κέντρο του δίσκου και του κώνου και όχι στα άκρα, για να εξομαλυνθεί η καμπύλη του VSWR και να διατηρηθεί το κατακόρυφο διάγραμμα ακτινοβολίας της κεραίας. Στο ανώτερο άκρο της ζώνης συχνοτήτων λειτουργίας το μέγιστο του διαγράμματος ακτινοβολίας τείνει να στραφεί σημαντικά προς τα κάτω, με αποτέλεσμα το επίπεδο του σήματος στο οριζόντιο επίπεδο να γίνει ανεπιθύμητα χαμηλό. Ως γενικός κανόνας μια περιοχή συχνοτήτων 4 ή 4.5:1 πιθανόν παριστάνει το καλύτερο δυνατό για σταθερή απόδοση VSWR και διαγράμματος ακτινοβολίας, [45].

Ο Kandoian ισχυρίστηκε ότι ο κώνος και ο δίσκος μπορεί να είναι ελλειπτικής διατομής και όχι κυκλικής. Μια ιδέα που πραγματοποίησε ο Barbano φτιάχνοντας την Aerodiscone με δίσκο και κώνο ελλειπτικής διατομής, όπου ο δίσκος είναι μεγαλύτερος από ότι μιας συνήθους Discone. Το ύψος της κεραίας μειώνεται τότε σημαντικά σε λ/10 ή λ/12 στην χαμηλότερη συχνότητα. Άλλη παραλλαγή που επιχείρησε ο Barbano ήταν η “Inverted Discone” με υψηλά ελλειπτικό κώνο πάνω από γειωμένο επίπεδο με ακροδέκτες να εξασφαλίζουν στήριξη και αντιστάθμιση, [45].

Η κεραία Discone προκύπτει από ένα δίπολο λ/2 εάν αντικαταστήσουμε το κάτω μέρος του με κώνο, επιτυγχάνοντας ευρυζωνική αποσύζευξη της γραμμής μεταφοράς και το επάνω μέρος του με έναν επίπεδο δίσκο, μειώνοντας το συνολικό ύψος της κεραίας, [46].

Ο κώνος και ο δίσκος της Discone μπορεί να είναι είτε από συμπαγές μέταλλο ή από ακτίνες σύρματος. Ιδανικά το διάγραμμα ακτινοβολίας είναι αυτό μιας άπειρης Bicone. Το διάγραμμα ακτινοβολίας για τις χαμηλές συχνότητες όπου η κεραία είναι μικρή σε σχέση με το μήκος κύματος λ, είναι αυτό ενός διπόλου. Καθώς αυξάνεται η συχνότητα το ηλεκτρικό μήκος αυξάνεται και το διάγραμμα ακτινοβολίας περιορίζεται στον κάτω ημιχώρο, [47]. Υιοθετούνται οι διαστάσεις του Nail όταν $d \approx \lambda_U/75$ στην υψηλότερη συχνότητα λειτουργίας και για μεγαλύτερες τιμές του d οι διαστάσεις που προτείνει ο Rappaport, [48].

Ο Woodman, το 1977, χρησιμοποίησε διηλεκτρικό για να μειώσει το ύψος μιας ευρυζωνικής VHF/UHF Discone κεραίας, επικαλύπτοντας τα σύρματα με κεραμικό υλικό και νερό. Επιτεύχθηκε έτσι μια μείωση 30% για αποδεκτή απόδοση ακτινοβολίας, [49].

Η κεραία Discone λόγω του απλού μηχανολογικού σχεδιασμού, της εύκολης εγκατάστασης και των ελκυστικών ευρυζωνικών χαρακτηριστικών έχει μια ευρεία εφαρμογή

στα VHF (30-300MHz) και στα UHF(300MHz-3GHz) για εκπομπή σήματος, τηλεόραση και εφαρμογές επικοινωνίας, [50], [51].

Τέλος, η κεραία αυτή αποτελεί τυπικό παράδειγμα κεραίας με ευρυζωνικές ιδιότητες και σημειώνεται ότι πέραν της αντίστασης εισόδου το διάγραμμα ακτινοβολίας έχει μια προκαθορισμένη εξάρτηση από τη συχνότητα που οφείλεται στο γεγονός ότι αλλαγή της συχνότητας οδηγεί σε αλλαγή του ηλεκτρικού μήκους των στοιχείων της κεραίας, [52].

2.5 : Η κεραία Discone ως κεραία αναφοράς. Αναφορές στην κεραία Discone.

Η κεραία discone χρησιμοποιήθηκε ως:

1. Παγκατευθυντική κεραία σε αεροπλάνο DC-3 στα 1000MHz, [53].
2. Κεραία αναφοράς για τον υπολογισμό της επίδρασης των κεραιών των τηλεφωνικών συσκευών χειρός σε διαφορετικό περιβάλλον πολλαπλών διαδρομών, [54].
3. Κεραία λήψης στις περιοχές συχνοτήτων 70-190MHz και 410-1250MHz για την βελτιστοποίηση της ρύθμισης ραδιο-συχνοτήτων, [55].
4. Κεραία σύγκρισης για την Slotted Cone κεραία ως προς το μέγεθος και τα χαρακτηριστικά της, διάγραμμα ακτινοβολίας και VSWR, [56].
5. Παράδειγμα εφαρμογής της μεθόδου ροπών MOM (Moment Method) των Mautz και Harrington και των μεθόδων BOR (bodies of revolution) για την επίδραση του πεπερασμένου γειωμένου επιπέδου της discone, [57].
6. Πηγή έμπνευσης για την τυπωμένη κεραία "four petal flower" ως παγκατευθυντική κεραία για ασύρματες επικοινωνίες, [58].
7. Παράδειγμα κεραίας με μικρή περιοχή τροφοδοσίας σε σχέση με το μήκος κύματος [59].
8. Κεραία εκπομπής από Ισπανικό σταθμό κατά τη διάρκεια σύγκρισης ως προς την απόδοση τριών HF δικτύων, της Χαβάης, του Παναμά και της Ισπανίας, με εκπομπή στην Αιόβα σε σχέση με τις υπολογιστικές προβλέψεις, [60].
9. Κεραία σύγκρισης για τη Λογαριθμική-Μακροπεριοδική (Log-periodic LP) κεραία με παράλληλους δίσκους. Η discone έχει σημαντικά μικρότερο μέγεθος για το ίδιο εύρος συχνοτήτων (3:1). Για χαμηλή συχνότητα αποκοπής 500MHz η μέγιστη διάμετρος της LP είναι 22.86cm ενώ της discone είναι 13.97cm. Το ύψος της LP φτάνει τα 50.8cm ενώ της discone τα 12.7cm, [61].

10. Κεραία εκπομπής λόγω του μη κατευθυντικού διαγράμματος ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο για τη μελέτη μιας κεραίας λήψης εσωτερικού χώρου στην ζώνη PCS (1.7GHz), [62].
11. Κεραία εκπομπής στην περιοχή συχνοτήτων 1.3-2.0GHz λόγω του διαγράμματος ακτινοβολίας της στο οριζόντιο και στο κατακόρυφο επίπεδο, για μετρήσεις διάδοσης μέσα σε κτίρια, [63].
12. Κεραία εκπομπής σε σύστημα SDS (Shared Dish System) στην ζώνη L (950-2150MHz) αλλά και τη δορυφορική λήψη με FM διαμόρφωση, γιατί είναι μικρή σε μέγεθος, (μικρότερη σε ύψος από ένα κοινό κουτί γάλα 1lt), εγκαθίσταται εύκολα σε σταθερή ή προσωρινή βάση, για εσωτερική ή εξωτερική χρήση, [64].
13. Η πιο κοινή κεραία με μη κατευθυντικό διάγραμμα ακτινοβολίας είναι η κατακόρυφα πολωμένη discone κεραία με 2:1 ή 3:1 εύρος ζώνης ώστε το διάγραμμα ακτινοβολίας να παραμένει αμετάβλητο, [65].
14. Κεραία λήψης με κέρδος $G_t = G_r = 1.6$ σε πειράματα που έγιναν για τον χαρακτηρισμό των καναλιών UHF με πολλαπλή διάδοση σε κτίρια εργοστασίων, [66].
15. Κεραία εκπομπής σε κινητό σταθμό στη συχνότητα 2154MHz με εύρος ζώνης 100MHz και ισχύ εκπομπής 40dBm για τον χωρικό χαρακτηρισμό των ραδιο-καναλιών σε αστικές περιοχές στην πόλη Ελσίνκι της Φιλανδίας, [67].
16. Κεραία εκπομπής-λήψης για τον εμπειρικό χαρακτηρισμό των ευρυζωνικών ραδιο-καναλιών εσωτερικού χώρου στη συχνότητα 5.3GHz. Οι κεραίες είχαν κέρδος 1dBi (1.26) και εύρος λοβού (beamwidth) 3dB 108° στο κάθετο επίπεδο, [68].
17. Κεραία εκπομπής για τη μέτρηση ευρυζωνικών αστικών κινητών ραδιο-καναλιών διπλής πόλωσης στο Ελσίνκι της Φιλανδίας, [69].
18. Κεραία λήψης για την χαρτογράφηση της χρήσης του καναλιού της Ατλάντα κατά τη διάρκεια των Ολυμπιακών Αγώνων του 1996. Οι μετρήσεις έγιναν με μια παγκατευθυντική discone κεραία τοποθετημένη κατακόρυφα, στην περιοχή συχνοτήτων 0.020-1.0GHz και κέρδος που κυμαινόταν από -4.0dBi έως 2.8dBi μέγιστη τιμή, [70].

    Η κεραία που χρησιμοποιήθηκε ήταν το μοντέλο 210/C της ARA (Antenna Research Associates). Στον Πίνακα 2.5.1 δίνονται η περιοχή συχνοτήτων και το κέρδος σε dBi.

Πίνακας 2.5.1: Κέρδος σε [dBi] της discone ανά περιοχή συχνοτήτων.

f [MHz]	138-144	148-162	162-174	225-400	406-420	450-470	470-512

Gain [dBi]	-4.0	-3.2	-2.1	1.5	2.8	2.3	2.0

f [MHz]	806-821	821-824	851-866	866-869	896-901	935-940	
Gain [dBi]	1.8	1.7	1.4	1.3	1.0	0.9	

19. Κεραία εκπομπής στα 870MHz και 1870MHz με απόστημα κώνου 10.16cm και προσαρμογή στα 50Ω σε μεταπτυχιακή διατριβή στο Virginia Polytechnic Institute το 1997, [71]. Στην εργασία αυτή προτείνεται ένας τύπος για το κέρδος σε dB

$$\mathrm{Gain}(\theta)=\begin{cases} 20\cdot\log_{10}\left|\dfrac{1.4782\cdot\cos(0.5\cdot\pi\cdot\cos\theta)\cdot\sin(2.5\cdot\sin\theta)}{\sin\theta}\right| & 0^\circ<\theta<180^\circ, \\ & 180^\circ<\theta<360^\circ \\ 0 & \text{αλλού} \end{cases}$$

20. Κεραία λήψης στις συχνότητες 900-1300MHz για τη μέτρηση με αναλυτή δικτυωμάτων της απόκρισης συχνότητας ράδιο-καναλιού διάδοσης εσωτερικού χώρου, [72].
21. Κεραία εκπομπής, τοποθετημένη σε υδατόπυργο 50m από το έδαφος, για μετρήσεις κατανομής σήματος και λόγου ισχύος από κινητό δέκτη στα 2.15GHz, [73].
22. Κεραία σύγκρισης ως προς το διάγραμμα ακτινοβολίας, όπως μετρήθηκε από τον Kandoian, για την ομοιότητά του με το διάγραμμα ακτινοβολίας μονοπολικών και κωνικών κεραιών σε σφαιρικά οχήματα, [74].
23. Κεραία εκπομπής-λήψης για την κάλυψη της περιοχής ραδιοερασιτεχνικών συχνοτήτων 30-1200MHz. Τρεις κεραίες discone είναι αρκετές για όλο το φάσμα, [75].

Από το γραφείο της Ομοσπονδιακής Επιτροπής Επικοινωνιών (FCC: Federal Communication Commission) δίνεται ο Πίνακας 2.5.2 για HF και ο Πίνακας 2.5.3 για VHF/UHF discone κεραία με εκτιμώμενο κέρδος 2dBi. Στους Πίνακες αυτούς προσδιορίζεται η απόσταση ασφαλούς έκθεσης σε μέτρα [m] από οποιοδήποτε μέρος της κεραίας για επαγγελματίες (ελεγχόμενα) και για το γενικό πληθυσμό (ανεξέλεγκτα), [76]. Η τυπική τιμή του ηλεκτρικού πεδίου κεραίας discone ραδιοερασιτεχνικού σταθμού σε σοφίτα στα 146.5MHz με ισχύ 250Watt είναι 10-27[V/m], [77].

Πίνακας 2.5.2: Απόσταση σε μέτρα από HF discone κεραία.

	3.5MHz		7MHz		14MHz		28MHz	

Ισχύς Πομπού σε [W]	Ελεγχό-μενα	Ανεξέ-λεγκτα	Ελεγχό-μενα	Ανεξέ-λεγκτα	Ελεγχό-μενα	Ανεξέ-λεγκτα	Ελεγχό-μενα	Ανεξέ-λεγκτα
50	0.1	0.3	0.3	0.6	0.5	1.2	1.1	2.4
100	0.2	0.4	0.4	0.8	0.7	1.7	1.5	3.3
250	0.3	0.7	0.6	1.3	1.2	2.6	2.4	5.3
500	0.4	0.9	0.8	1.9	1.7	3.7	3.3	7.5

Πίνακας 2.5.3: Απόσταση σε μέτρα από VHF/UHF discone κεραία.

	50MHz		144MHz		220MHz		440MHz	
Ισχύς Πομπού σε [W]	Ελεγχό-μενα	Ανεξέ-λεγκτα	Ελεγχό-μενα	Ανεξέ-λεγκτα	Ελεγχό-μενα	Ανεξέ-λεγκτα	Ελεγχό-μενα	Ανεξέ-λεγκτα
50	1.3	2.8	1.3	2.8	1.3	2.8	1.0	2.3
100	1.8	4.0	1.8	4.0	1.8	4.0	1.5	3.3
250	2.8	6.4	2.8	6.4	2.8	6.4	2.3	5.2
500	4.0	9.0	4.0	9.0	4.0	9.0	3.3	7.3

Στις [78], [79] δίνονται αναλυτικές οδηγίες κατασκευής για δύο μοντέλα VHF (140-1400MHz) Discone της CD-2W που αφορά κεραία με συρμάτινο πλέγμα για την ελαχιστοποίηση της αντίστασης στον αέρα και της CD-2T όπου τα στοιχεία του δίσκου και του κώνου έχουν αντικατασταθεί από 3 τηλεσκοπικές ράβδους αντίστοιχα, για εύκολη αποθήκευση, μεταφορά και εγκατάσταση. Το ελάχιστο μήκος της είναι 20.32cm. Στην [80] βρίσκουμε οδηγίες αλλά και φωτογραφίες για την κατασκευή βήμα προς βήμα τόσο μιας συμπαγούς Discone όσο και μιας Skeleton Discone.

Τέλος, στο σημείο αυτό κρίνεται σκόπιμο να αναφέρουμε τη σημαντική προσπάθεια των K.Nagasawa και I.Matsuzuka για τη θεωρητική μελέτη του ακτινοβολούμενου πεδίου της Discone ως εφαρμογή μιας Biconical Horn κεραίας, [81], [82]. Την εργασία τους αυτήν την επέκτειναν για την εύρεση του πεδίου ακτινοβολίας μιας Discone με πλάγιο (λοξό) κώνο [83] αλλά και για Discone με πλάγιο κώνο και δίσκο ελλειπτικής διατομής [84], παρουσιάζοντας αριθμητικά και πειραματικά δεδομένα στα 500MHz για διάφορες γεωμετρικές διαμορφώσεις της κεραίας.

2.6 : Η κεραία Discone σε πρόσφατες εφαρμογές.

Ο σχεδιασμός κεραίας Discone αποτέλεσε θέμα μεταπτυχιακής διατριβής το 1997 από την οποία δίδεται μια περίληψη μόνον. Η κεραία σχεδιάστηκε για λειτουργία στα 433.92MHz, με κέρδος 2.3dBd και VSWR 1.25:1, [85].

Επίσης χρησιμοποιήθηκε κεραία Discone κέρδους περίπου 0dBi σε διδακτορική διατριβή το 1998 με θέμα τις παρεμβολές εξωγήινων μικροκυματικών ακτινοβολιών, [86]. Στο Σχήμα 2.6.1 φαίνεται το VSWR στο σημείο τροφοδοσίας όπως υπολογίστηκε από μετρήσεις της απώλειας επιστροφής με αναλυτή φάσματος. Είναι κάτω από 1.7:1 στην περιοχή συχνοτήτων που ενδιαφέρει και πολύ πάνω από 5:1 στις ζώνες της κυψελοειδούς κινητής τηλεφωνίας (1^{η} και 2^{η} γενεά).

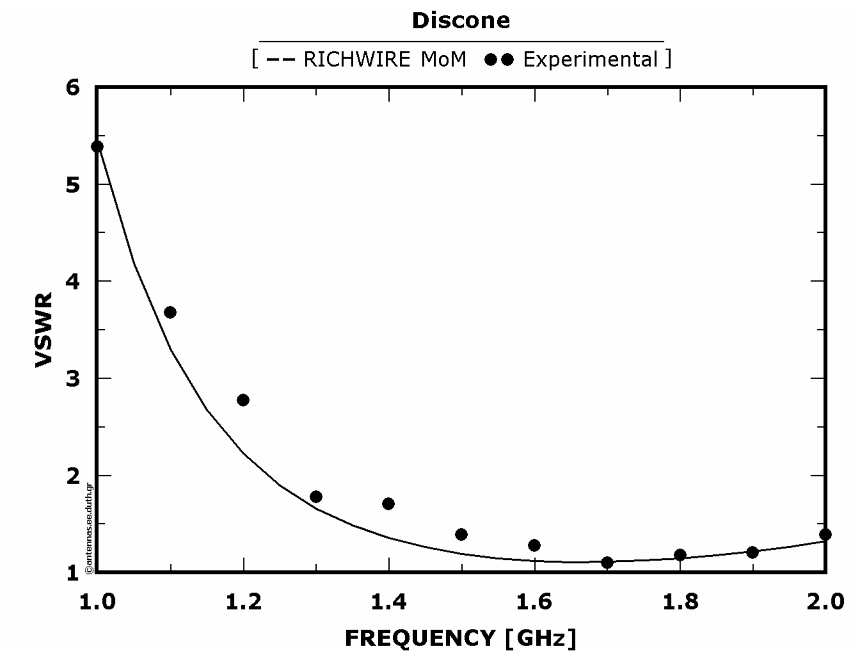
Η κεραία κατασκευάστηκε με 8 ακτίνες χαλκού σε SMA συνδετήρα με χαμηλή συχνότητα αποκοπής 1GHz. Οι διαστάσεις της ήταν $L = 7.5\text{cm}$, $D = 5.25\text{cm}$, $\alpha = 60^{\circ}$ και ύψος 6.5cm και προσδιορίστηκαν με βάση την τυποποίηση Nail (Σχ.2.2.2). Τα γεωμετρικά στοιχεία που περιγράφουν την κεραία σε αυτήν την διατριβή δεν είναι επαρκή. Επίσης η σχέση (2.2.2) που υπαγορεύει η τυποποίηση που χρησιμοποιήθηκε

$$\frac{L}{d} < 22 \Rightarrow \frac{7.5}{22} > d \Rightarrow d < 0.34 \qquad (2.6.1)$$

δεν πληρείται για SMA συνδετήρα αφού η διάμετρος του κυμαίνεται από 0.66cm για τον θηλυκό έως 0.9cm για τον αρσενικό. Αναζητώντας τα στοιχεία που λείπουν υιοθετήσαμε απόσταση μεταξύ δίσκου και κώνου $s = 0.7\,\text{cm}$, διάμετρο 1mm για τις ακτίνες χαλκού και μικρή διάμετρο του κόλουρου κώνου $d = 1.9\,\text{cm}$. Με εφαρμογή του προγράμματος Skeleton Discone-Richwire πήραμε την συνεχή καμπύλη για το VSWR του (Σχ.2.6.1).

Μια εντελώς πρόσφατη εφαρμογή ήταν η κατασκευή Discone κεραίας για τα χαρακτηριστικά του IEEE 802.11b (Wi-Fi) για τις συχνότητες 2400-2440MHz, [87]. Σκοπός ήταν να επιτευχθεί υψηλότερο κέρδος από την κεραία της PCMCIA κάρτας "Lucent Bronze", μικρότερο μέγεθος και μεγαλύτερη πιθανότητα για παγκατευθυντικότητα από τις υπάρχουσες διαθέσιμες εξωτερικές κεραίες για χρήση σε κινητό περιβάλλον, και χαμηλό κόστος. Η κε-

ραία που κατασκευάστηκε είχε διαστάσεις 3x3.75x3.75 cm, και χρησιμοποιήθηκε η τυποποίηση του Nail από το Antenna Book της ARRL 19η έκδοση. Η γωνία του κώνου ήταν 64°. Η κεραία τροφοδοτήθηκε με λεπτό ομοαξονικό καλώδιο 50Ω και συνδετήρες για τα 2.4GHz. Χρησιμοποιήθηκε φύλλο χαλκού για τον κώνο και πλακέτα μονής όψης από Fiberglass για το δίσκο. Δίνονται επίσης λεπτομερείς οδηγίες για την κατασκευή. Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις VSWR με τη χρήση γεννήτριας κυματομορφών στα 2.4GHz με AM διαμόρφωση και γραμμής μεταφοράς με σχισμή και μετρήσεις διαγράμματος ακτινοβολίας σε πραγματικό χώρο με κεραία αναφοράς τύπου Yagi της εταιρείας Cushcraft με κέρδος 25dBi. Τα αποτελέσματα ήταν πολύ καλά. Επιτεύχθηκε SWR της τάξης του 1.4:1 και αντίσταση στα 56 + i 7.5 Ω. Για την προσομοίωση χρησιμοποιήθηκε προσομοιωτής της NEC στον οποίο αποδίδεται η ελαφριά κλίση του διαγράμματος ακτινοβολίας, [87].



Σχήμα 2.6.1: Προσαρμογή της κεραίας discone στα 50Ω.

Τέλος, κεραία Discone κατασκευάστηκε και χρησιμοποιήθηκε στην εταιρεία κατασκευής αεροπλάνων Cessna στο Whishita του Kansas για το θάλαμο διέγερσης ρυθμών MSC (Mode Stir Chamber), [88]. Αρχικά χρησιμοποιήθηκε μία Discone του εμπορίου ως κεραία λήψης στην ζώνη συχνοτήτων 100-1000MHz. Λόγω της πολύ καλής συμπεριφοράς της αποφασίστηκε να σχεδιαστεί κεραία για εκπομπή σε υψηλότερες συχνότητες. Η κεραία αυτή συγκρίθηκε με κεραίες χοάνης. Η διάταξη των μετρήσεων περιελάμβανε μια HP85025C κατευθυντική γέφυρα, έναν HP83620A RF σαρωτή και έναν HP8757D βαθμωτό αναλυτή δικτυωμάτων.

Τα αποτελέσματα έδειξαν, ότι η απώλεια επιστροφής της Discone ήταν πάντοτε μικρότερη ή ίση αυτής της χοάνης και σε κάποιες ζώνες συχνοτήτων η Discone ήταν πολύ καλύτερη, [88]. Τώρα χρησιμοποιούνται 4 Discones από 1 έως 8GHz με ξεχωριστή κεραία σε κάθε TWT ενισχυτή. Μια περιοχή συχνοτήτων 3:1 δίνει χαμηλότερο VSWR γεγονός που συμφωνεί με την περιοχή μιας οκτάβας των TWT's ενισχυτών. Δίνονται κατασκευαστικές λεπτομέρειες και προτείνεται κατά το σχεδιασμό της Discone, για μια συγκεκριμένη ζώνη συχνοτήτων, να χρησιμοποιηθεί ως χαμηλή συχνότητα 20% μικρότερη από την επιθυμητή πρώτη συχνότητα λειτουργίας ώστε να βελτιωθούν τα χαρακτηριστικά της κεραίας στις χαμηλότερες συχνότητες.

Κεφάλαιο 3 : Θεωρητική μελέτη του Διαγράμματος Ακτινοβολίας Skeleton Discone κεραίας.

3.1 : Εισαγωγή.

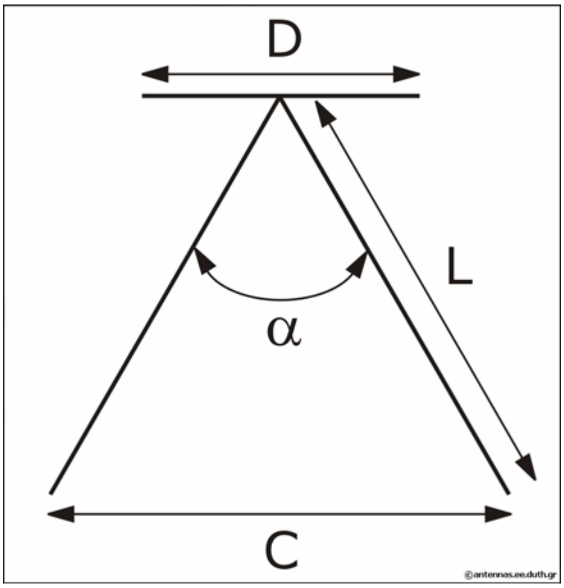
Η θεωρία κεραιών που έχουμε διδαχθεί μελετά οποιαδήποτε κεραία λεπτού σύρματος, [89], [90]. Αυτό σημαίνει ότι μπορούμε να μελετήσουμε κάθε κεραία, άρα και την κεραία Discone, φτιάχνοντας ένα συρμάτινο μοντέλο της, με ακτίνα σύρματος μικρότερη του 0.01λ.

Στη βιβλιογραφία αναφέρεται ότι μπορεί να κατασκευαστεί κεραία Discone από μεταλλικά φύλλα ή από ακτινικά σύρματα. Η συρμάτινη μορφή της, έχει τις ρίζες της στους ραδιοερασιτέχνες και στις χαμηλές συχνότητες των HF όπου οι διαστάσεις της είναι πολύ μεγάλες. Η διατήρηση όμως των ευνοϊκών της χαρακτηριστικών, ευρυζωνική ως προς το διάγραμμα ακτινοβολίας και την αντίσταση, και παγκατευθυντική, δεν μας απαγορεύει να την χρησιμοποιήσουμε σε αυτήν τη μορφή και σε υψηλότερες συχνότητες. Από έρευνα άλλωστε στο διαδίκτυο για τις διαθέσιμες Discones προς αγορά, (ένας σύντομος οδηγός παρατίθεται στο Παράρτημα Α), διαπιστώνουμε ότι σχεδόν όλες οι κεραίες είναι συρμάτινης μορφής. Αυτή θα χαρακτηρίζεται από εδώ και πέρα σε αυτήν την εργασία, υιοθετώντας το χαρακτηρισμό του Cooke [39], παράγραφος 2.3, Skeleton Discone.

Ένας άλλος λόγος που μας οδήγησε στη απόφαση της επιλογής της Skeleton Discone ήταν ότι οι βασικές ερευνητικές εργασίες αφορούσαν την συμπαγή μορφή της κεραίας ([24], [25], [26] [27]) αφήνοντας τη συρμάτινη μορφή αποκλειστικά στους ραδιοερασιτέχνες.

Με βάση όλα τα παραπάνω και λαμβάνοντας υπόψη μας τις πληροφορίες που αντλήσαμε από τη βιβλιογραφία, επιλέξαμε να μελετήσουμε διερευνητικά το διάγραμμα ακτινοβολίας μιας Skeleton Discone κεραίας 16 στοιχείων, δηλαδή, 8 ακτίνων για το δίσκο και 8 ακτίνων για τον κώνο ([29], [30], [34], [35], [39], [40]) τομή της οποίας φαίνεται στο Σχήμα 3.1.1. Οι ακτίνες του κώνου είναι ευθύγραμμα τμήματα μήκους λ/4 στη χαμηλότερη συχνότητα ενώ οι ακτίνες του δίσκου είναι ευθύγραμμα τμήματα μεταβλητού μήκους

ανάλογα με τη γωνία της κορυφής του κώνου. Υιοθετήσαμε καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων έτσι ώστε ο δίσκος να βρίσκεται στο xOy επίπεδο.



Σχήμα 3.1.1: Το θεωρητικό μοντέλο της Skeleton Discone.

Η όλη διαπραγμάτευση θα γίνει στον ελεύθερο χώρο (Free Space), δηλαδή θα αγνοήσουμε το περιβάλλον της κεραίας. Το σύρμα θα αντικατασταθεί από νηματοειδή στελέχη ίσου μήκους επί του άξονά του. Η περιοχή τροφοδοσίας (πηγή-ομοαξονικό καλώδιο) αντιστοιχεί στο μοντέλο μας σε μια κυκλωματική πηγή σημειακών διαστάσεων στην αρχή του συστήματος συντεταγμένων.

Αναλυτικά, θα ακολουθήσουμε τα παρακάτω βήματα:

(1) Εφαρμογή της τεχνικής της μεθόδου των ροπών [90] για την απόδειξη της ισότητας των ρευμάτων τα οποία διαρρέουν τις 8 ακτίνες του δίσκου και εκείνων που διαρρέουν τις 8 ακτίνες του κώνου.

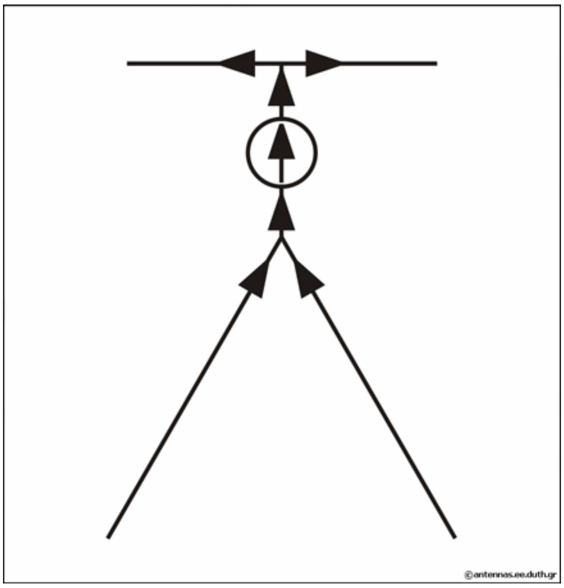
(2) Εφαρμογή του γενικού τύπου έκφρασης του διαγράμματος ακτινοβολίας [89] σε καθένα από τα στοιχεία και υπέρθεση για την εύρεση του ολικού διαγράμματος ακτινοβολίας.

(3) Εφαρμογή της συνάρτησης του διαγράμματος ακτινοβολίας για συγκεκριμένη κεραία.

Τέλος, επειδή η κεραία αυτή εμφανίζει γεωμετρική κυλινδρική συμμετρία αναμένεται να έχει ομοιόμορφο διάγραμμα ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο.

3.2 : Ρευματική κατανομή.

Θα δείξουμε ότι τα ρεύματα που διαρρέουν τα οκτώ ακτινικά στοιχεία του δίσκου, τα οποία βρίσκονται στο xOy επίπεδο, είναι ίσα όπως και τα ρεύματα που διαρρέουν τα οκτώ ακτινικά στοιχεία του δίσκου. Θα εφαρμόσουμε την τεχνική της μεθόδου των ροπών με "σημειακή" πηγή της οποίας το ένα άκρο συνδέεται στο σημείο τομής των οκτώ στοιχείων του δίσκου και το άλλο συνδέεται στην κορυφή του κώνου. Η ελάχιστη δυνατή κάλυψη των οκτώ ακτίνων απαιτεί τη θεώρηση οκτώ διπολικών ρευμάτων με ημιτονοειδή ρευματική κατανομή. Στο Σχήμα 3.2.1 φαίνεται μία τομή της Skeleton Discone με την πηγή τροφοδοσίας σε μεγένθυση και τη θεωρούμενη στιγμιαία θετική φορά των ρευμάτων.



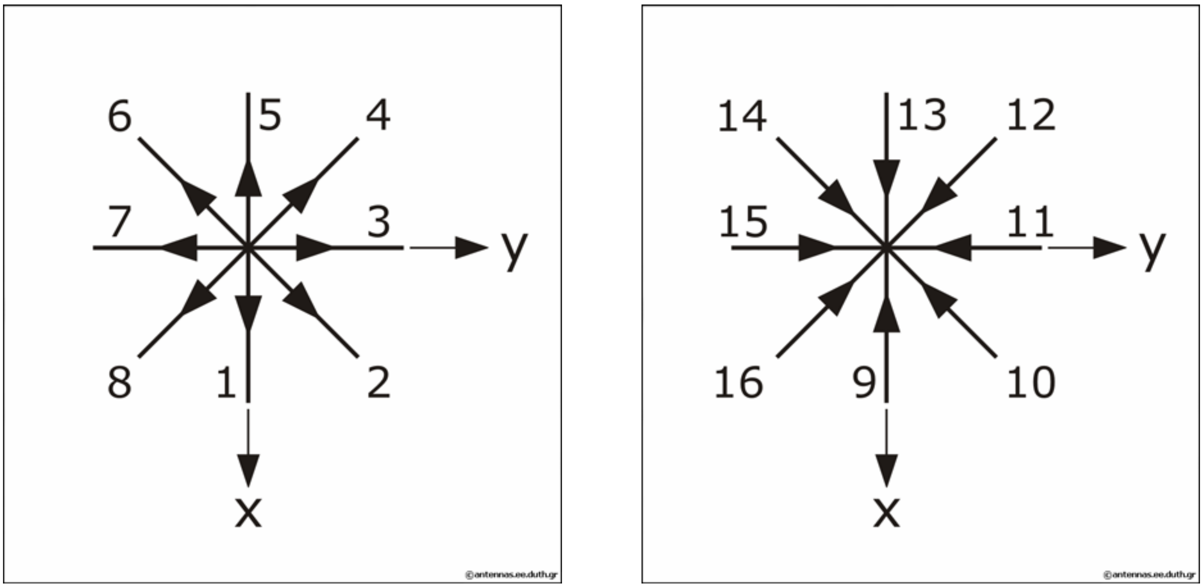
Σχήμα 3.2.1: Πηγή τροφοδοσίας και φορές ρευμάτων στη Skeleton Discone.

Αριθμούμε τα στοιχεία και τα ρεύματά τους, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.2.3, όπου τα στοιχεία 1-8 είναι οι ακτίνες του δίσκου και τα στοιχεία 9-16 είναι η προβολή των ακτίνων του κώνου στο xOy επίπεδο. Θα ασχοληθούμε πρώτα με τα στοιχεία του δίσκου. Σχηματίζουμε το σύστημα των εξισώσεων (8x8):

$$[\dot{z}]\cdot[\dot{I}] = [\dot{V}] \qquad (3.2.1)$$

όπου $[\dot{z}]$, $[\dot{I}]$ και $[\dot{V}]$ είναι τα μητρώα των αντιστάσεων, των ρευμάτων και των τάσεων αντίστοιχα. Από τη γεωμετρία των στοιχείων προκύπτει αμέσως ότι οι ίδιες αντιστάσεις είναι ίσες. Θέτουμε:

$$\dot{a} \equiv \dot{z}_{11} = \dot{z}_{22} = ... = \dot{z}_{88} \qquad (3.2.2)$$



Σχήμα 3.2.3: Ρευματική κατανομή στην Skeleton Discone.

Επίσης για τις αμοιβαίες αντιστάσεις $\dot{z}_{ij}$ προκύπτουν οι επιπλέον σχέσεις ισότητας:

$$\dot{b} \equiv \dot{z}_{12} = \dot{z}_{23} = \dot{z}_{34} = \dot{z}_{45} = \dot{z}_{56} = \dot{z}_{67} = \dot{z}_{78} = \dot{z}_{18} \qquad (3.2.3)$$

$$\dot{c} \equiv \dot{z}_{13} = \dot{z}_{24} = \dot{z}_{35} = \dot{z}_{57} = \dot{z}_{17} = \dot{z}_{28} = \dot{z}_{46} = \dot{z}_{68} \qquad (3.2.4)$$

$$\dot{d} \equiv \dot{z}_{14} = \dot{z}_{16} = \dot{z}_{25} = \dot{z}_{27} = \dot{z}_{36} = \dot{z}_{38} = \dot{z}_{47} = \dot{z}_{58} \qquad (3.2.5)$$

$$\dot{e} \equiv \dot{z}_{15} = \dot{z}_{26} = \dot{z}_{37} = \dot{z}_{48} \qquad (3.2.6)$$

Έτσι το σύστημα (3.2.1) γίνεται

$$\begin{bmatrix} \dot{a} & \dot{b} & \dot{c} & \dot{d} & \dot{e} & \dot{d} & \dot{c} & \dot{b} \\ \dot{b} & \dot{a} & \dot{b} & \dot{c} & \dot{d} & \dot{e} & \dot{d} & \dot{c} \\ \dot{c} & \dot{b} & \dot{a} & \dot{b} & \dot{c} & \dot{d} & \dot{e} & \dot{d} \\ \dot{d} & \dot{c} & \dot{b} & \dot{a} & \dot{b} & \dot{c} & \dot{d} & \dot{e} \\ \dot{e} & \dot{d} & \dot{c} & \dot{b} & \dot{a} & \dot{b} & \dot{c} & \dot{d} \\ \dot{d} & \dot{e} & \dot{d} & \dot{c} & \dot{b} & \dot{a} & \dot{b} & \dot{c} \\ \dot{c} & \dot{d} & \dot{e} & \dot{d} & \dot{c} & \dot{b} & \dot{a} & \dot{b} \\ \dot{b} & \dot{c} & \dot{d} & \dot{e} & \dot{d} & \dot{c} & \dot{b} & \dot{a} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{I}_1 \\ \dot{I}_2 \\ \dot{I}_3 \\ \dot{I}_4 \\ \dot{I}_5 \\ \dot{I}_6 \\ \dot{I}_7 \\ \dot{I}_8 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{V} \\ \dot{V} \\ \dot{V} \\ \dot{V} \\ \dot{V} \\ \dot{V} \\ \dot{V} \\ \dot{V} \end{bmatrix} \qquad (3.2.7)$$

όπου ο πίνακας των αντιστάσεων είναι κατά τα γνωστά συμμετρικός, $\dot{z}_{ij} = \dot{z}_{ji}$, δηλαδή ισούται με τον ανάστροφό του. Επίσης, τα στοιχεία κάθε γραμμής i+1 (ή στήλης) προκύπτουν με κυκλική μετάθεση του τελευταίου στοιχείου σε πρώτο της γραμμής i. Επιλύοντας το σύστημα (3.2.7) με τη μέθοδο Crammer έχουμε:

$$\dot{I}_1 = \frac{\left\|\dot{z}_1\right\|}{\left\|\dot{z}\right\|},\ \dot{I}_2 = \frac{\left\|\dot{z}_2\right\|}{\left\|\dot{z}\right\|},\ \dot{I}_3 = \frac{\left\|\dot{z}_3\right\|}{\left\|\dot{z}\right\|},\ \dot{I}_4 = \frac{\left\|\dot{z}_4\right\|}{\left\|\dot{z}\right\|},$$

$$\dot{I}_5 = \frac{\left\|\dot{z}_5\right\|}{\left\|\dot{z}\right\|},\ \dot{I}_6 = \frac{\left\|\dot{z}_6\right\|}{\left\|\dot{z}\right\|},\ \dot{I}_7 = \frac{\left\|\dot{z}_7\right\|}{\left\|\dot{z}\right\|},\ \dot{I}_8 = \frac{\left\|\dot{z}_8\right\|}{\left\|\dot{z}\right\|} \qquad (3.2.8)$$

όπου $\left\|\dot{z}\right\|$ είναι η ορίζουσα του πίνακα των αντιστάσεων και $\left\|\dot{z}_i\right\|$ είναι οι ορίζουσες που προκύπτουν με αντικατάσταση της i-οστής στήλης από το σταθερό διάνυσμα. Για να δείξουμε την ισότητα των ρευμάτων

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_2 = \dot{I}_3 = \dot{I}_4 = \dot{I}_5 = \dot{I}_6 = \dot{I}_7 = \dot{I}_8 \qquad (3.2.9)$$

αρκεί να δείξουμε ότι

$$\left\|\dot{z}_1\right\| = \left\|\dot{z}_2\right\| = \left\|\dot{z}_3\right\| = \ldots = \left\|\dot{z}_8\right\| = \left\|\dot{z}_i\right\| \qquad (3.2.10)$$

όπου

$$\left\|\boxed{\dot{z}_i}\right\| = \left\|\boxed{\dot{z}_1}\right\| = \dot{V}\cdot \begin{vmatrix} 1 & \dot{b} & \dot{c} & \dot{d} & \dot{e} & \dot{d} & \dot{c} & b \\ 1 & \dot{a} & \dot{b} & \dot{c} & \dot{d} & \dot{e} & \dot{d} & \dot{c} \\ 1 & \dot{b} & \dot{a} & \dot{b} & \dot{c} & \dot{d} & \dot{e} & \dot{d} \\ 1 & \dot{c} & \dot{b} & \dot{a} & \dot{b} & \dot{c} & \dot{d} & \dot{e} \\ 1 & \dot{d} & \dot{c} & \dot{b} & \dot{a} & \dot{b} & \dot{c} & \dot{d} \\ 1 & \dot{e} & \dot{d} & \dot{c} & \dot{b} & \dot{a} & \dot{b} & \dot{c} \\ 1 & \dot{d} & \dot{e} & \dot{d} & \dot{c} & \dot{b} & \dot{a} & \dot{b} \\ 1 & \dot{c} & \dot{d} & \dot{e} & \dot{d} & \dot{c} & \dot{b} & \dot{a} \end{vmatrix} \qquad (3.2.11)$$

Χρησιμοποιώντας την τεχνική της αντιμετάθεσης γραμμών και στηλών θα δείξουμε αναλυτικά ότι $\left\|\boxed{\dot{z}_2}\right\| = \left\|\boxed{\dot{z}_i}\right\|$, με την ισότητα να αποδεικνύεται εύκολα με τον ίδιο τρόπο και για τις υπόλοιπες ορίζουσες. Έτσι για την δεύτερη ορίζουσα ξεκινάμε με την αλλαγή στηλών 1→2 και μετά με αλλαγή γραμμών 1→2. Στη συνέχεια έχουμε τις αλλαγές στηλών 3→8, 4→7, 5→6 και τέλος τις αλλαγές γραμμών 3→8, 4→7, 5→6.

$$\left\|\boxed{\dot{z}_2}\right\| = \dot{V}\cdot \begin{vmatrix} \dot{a} & 1 & \dot{c} & \dot{d} & \dot{e} & \dot{d} & \dot{c} & b \\ \dot{b} & 1 & \dot{b} & \dot{c} & \dot{d} & \dot{e} & \dot{d} & \dot{c} \\ \dot{c} & 1 & \dot{a} & \dot{b} & \dot{c} & \dot{d} & \dot{e} & \dot{d} \\ \dot{d} & 1 & \dot{b} & \dot{a} & \dot{b} & \dot{c} & \dot{d} & \dot{e} \\ \dot{e} & 1 & \dot{c} & \dot{b} & \dot{a} & \dot{b} & \dot{c} & \dot{d} \\ \dot{d} & 1 & \dot{d} & \dot{c} & \dot{b} & \dot{a} & \dot{b} & \dot{c} \\ \dot{c} & 1 & \dot{e} & \dot{d} & \dot{c} & \dot{b} & \dot{a} & \dot{b} \\ \dot{b} & 1 & \dot{d} & \dot{e} & \dot{d} & \dot{c} & \dot{b} & \dot{a} \end{vmatrix} =$$

$$
= -\dot{V}\cdot\begin{vmatrix}
1 & \dot{a} & \dot{c} & \dot{d} & \dot{e} & \dot{d} & \dot{c} & \dot{b} \\
1 & \dot{b} & \dot{b} & \dot{c} & \dot{d} & \dot{e} & \dot{d} & \dot{c} \\
1 & \dot{c} & \dot{a} & \dot{b} & \dot{c} & \dot{d} & \dot{e} & \dot{d} \\
1 & \dot{d} & \dot{b} & \dot{a} & \dot{b} & \dot{c} & \dot{d} & \dot{e} \\
1 & \dot{e} & \dot{c} & \dot{b} & \dot{a} & \dot{b} & \dot{c} & \dot{d} \\
1 & \dot{d} & \dot{d} & \dot{c} & \dot{b} & \dot{a} & \dot{b} & \dot{c} \\
1 & \dot{c} & \dot{e} & \dot{d} & \dot{c} & \dot{b} & \dot{a} & \dot{b} \\
1 & \dot{b} & \dot{d} & \dot{e} & \dot{d} & \dot{c} & \dot{b} & \dot{a}
\end{vmatrix}
= \dot{V}\cdot\begin{vmatrix}
1 & \dot{b} & \dot{b} & \dot{c} & \dot{d} & \dot{e} & \dot{d} & \dot{c} \\
1 & \dot{a} & \dot{c} & \dot{d} & \dot{e} & \dot{d} & \dot{c} & \dot{b} \\
1 & \dot{c} & \dot{a} & \dot{b} & \dot{c} & \dot{d} & \dot{e} & \dot{d} \\
1 & \dot{d} & \dot{b} & \dot{a} & \dot{b} & \dot{c} & \dot{d} & \dot{e} \\
1 & \dot{e} & \dot{c} & \dot{b} & \dot{a} & \dot{b} & \dot{c} & \dot{d} \\
1 & \dot{d} & \dot{d} & \dot{c} & \dot{b} & \dot{a} & \dot{b} & \dot{c} \\
1 & \dot{c} & \dot{e} & \dot{d} & \dot{c} & \dot{b} & \dot{a} & \dot{b} \\
1 & \dot{b} & \dot{d} & \dot{e} & \dot{d} & \dot{c} & \dot{b} & \dot{a}
\end{vmatrix} =
$$

$$
= -\dot{V}\cdot\begin{vmatrix}
1 & \dot{b} & \dot{c} & \dot{d} & \dot{e} & \dot{d} & \dot{c} & \dot{b} \\
1 & \dot{a} & \dot{b} & \dot{c} & \dot{d} & \dot{e} & \dot{d} & \dot{c} \\
1 & \dot{c} & \dot{d} & \dot{e} & \dot{d} & \dot{c} & \dot{b} & \dot{a} \\
1 & \dot{d} & \dot{e} & \dot{d} & \dot{c} & \dot{b} & \dot{a} & \dot{b} \\
1 & \dot{e} & \dot{d} & \dot{c} & \dot{b} & \dot{a} & \dot{b} & \dot{c} \\
1 & \dot{d} & \dot{c} & \dot{b} & \dot{a} & \dot{b} & \dot{c} & \dot{d} \\
1 & \dot{c} & \dot{b} & \dot{a} & \dot{b} & \dot{c} & \dot{d} & \dot{e} \\
1 & \dot{b} & \dot{a} & \dot{a} & \dot{c} & \dot{d} & \dot{e} & \dot{d}
\end{vmatrix}
= \dot{V}\cdot\begin{vmatrix}
1 & \dot{b} & \dot{c} & \dot{d} & \dot{e} & \dot{d} & \dot{c} & \dot{b} \\
1 & \dot{a} & \dot{b} & \dot{c} & \dot{d} & \dot{e} & \dot{d} & \dot{c} \\
1 & \dot{b} & \dot{a} & \dot{b} & \dot{c} & \dot{d} & \dot{e} & \dot{d} \\
1 & \dot{c} & \dot{b} & \dot{a} & \dot{b} & \dot{c} & \dot{d} & \dot{e} \\
1 & \dot{d} & \dot{c} & \dot{b} & \dot{a} & \dot{b} & \dot{c} & \dot{d} \\
1 & \dot{e} & \dot{d} & \dot{c} & \dot{b} & \dot{a} & \dot{b} & \dot{c} \\
1 & \dot{d} & \dot{e} & \dot{d} & \dot{c} & \dot{b} & \dot{a} & \dot{b} \\
1 & \dot{c} & \dot{d} & \dot{e} & \dot{d} & \dot{c} & \dot{b} & \dot{a}
\end{vmatrix} =
$$

$$
= \left\| \boxed{\dot{z}_1} \right\| = \left\| \boxed{\dot{z}_i} \right\| \qquad (3.2.12)
$$

Ακολουθώντας την ίδια ακριβώς διαδικασία για τα στοιχεία του κώνου καταλήγουμε σε ένα σύστημα εξισώσεων όπως της (3.2.7) με μόνη διαφορά τις αριθμητικές τιμές των ιδίων και αμοιβαίων αντιστάσεων. Οπότε αποδεικνύεται ότι και τα οκτώ ρεύματα που διαρρέουν τις ακτίνες του κώνου είναι ίσα μεταξύ τους. Επομένως συμπεραίνουμε ότι εάν το ρεύμα από την πηγή είναι $\dot{I}$, τότε

(α) το ρεύμα που διαρρέει τα οκτώ στοιχεία του δίσκου είναι ίσο με $(1/8)\dot{I}$

(β) το ρεύμα που διαρρέει τα οκτώ στοιχεία του κώνου είναι ίσο με $(1/8)\dot{I}$.

3.3 : Το Διάγραμμα Ακτινοβολίας της Skeleton Discone.

Θα εφαρμόσουμε το γενικό τύπο για το διάγραμμα ακτινοβολίας, [89], για κάθε ένα από τα 16 στοιχεία της Skeleton Discone κεραίας. Στη συνέχεια θα βρούμε την έκφραση του συνολικού διαγράμματος ακτινοβολίας αθροίζοντας τα επιμέρους διαγράμματα, βάση της αρχής της επαλληλίας, [89], [91]. Επειδή η κεραία αποτελείται από δύο μέρη, δίσκο και κώνο, θα εκφράσουμε ξεχωριστά το διάγραμμα ακτινοβολίας για τα στοιχεία του δίσκου $\mathbb{E}_D$ και το διάγραμμα ακτινοβολίας για τα στοιχεία του κώνου $\mathbb{E}_C$. Οπότε

$$\mathbb{E} = \mathbb{E}_D + \mathbb{E}_C = \sum_{i=1}^{8} \mathbb{E}_i + \sum_{i=9}^{16} \mathbb{E}_i \qquad (3.3.1)$$

Έστω h_d το μήκος των στοιχείων του δίσκου και h_c το μήκος των στοιχείων του κώνου. Χρειάζεται να προσδιορίσουμε πρώτα το μοναδιαίο διάνυσμα κατεύθυνσης για κάθε στοιχείο, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.3.1, όπου έχουμε προβάλλει τα στοιχεία του κώνου στο xOy επίπεδο. Οπότε παίρνουμε:

$$\begin{aligned}
\vec{\ell}_1 &= \vec{x} & \vec{\ell}_5 &= -\vec{x} \\
\vec{\ell}_2 &= \frac{1}{\sqrt{2}}\cdot(\vec{x} + \vec{y}) & \vec{\ell}_6 &= -\frac{1}{\sqrt{2}}\cdot(\vec{x} + \vec{y}) \\
\vec{\ell}_3 &= \vec{y} & \vec{\ell}_7 &= -\vec{y} \\
\vec{\ell}_4 &= \frac{1}{\sqrt{2}}\cdot(-\vec{x} + \vec{y}) & \vec{\ell}_8 &= \frac{1}{\sqrt{2}}\cdot(\vec{x} - \vec{y})
\end{aligned} \qquad (3.3.2)$$

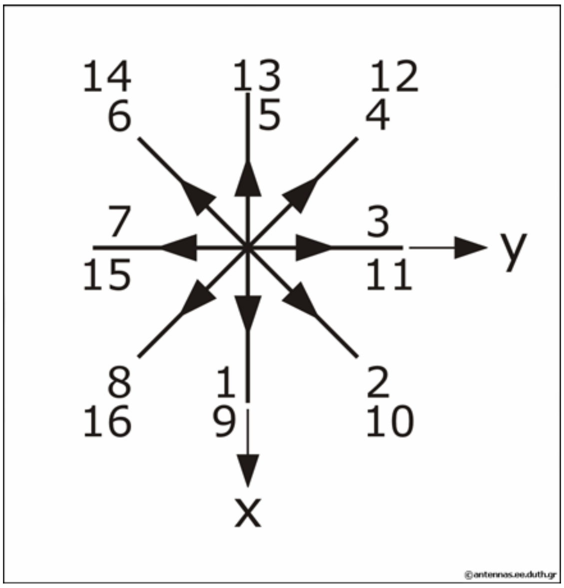
για τα στοιχεία του δίσκου και για τα στοιχεία του κώνου

$$\begin{aligned}
\vec{\ell}_9 &= \sin\theta_\alpha\cdot\vec{x} + \cos\theta_\alpha\cdot\vec{z} & \vec{\ell}_{13} &= -\sin\theta_\alpha\cdot\vec{x} + \cos\theta_\alpha\cdot\vec{z} \\
\vec{\ell}_{10} &= \frac{1}{\sqrt{2}}\cdot\sin\theta_\alpha\cdot(\vec{x} + \vec{y}) + \cos\theta_\alpha\cdot\vec{z} & \vec{\ell}_{14} &= -\frac{1}{\sqrt{2}}\cdot\sin\theta_\alpha\cdot(\vec{x} + \vec{y}) + \cos\theta_\alpha\cdot\vec{z} \\
\vec{\ell}_{11} &= \sin\theta_\alpha\cdot\vec{y} + \cos\theta_\alpha\cdot\vec{z} & \vec{\ell}_{15} &= -\sin\theta_\alpha\cdot\vec{y} + \cos\theta_\alpha\cdot\vec{z} \\
\vec{\ell}_{12} &= \frac{1}{\sqrt{2}}\cdot\sin\theta_\alpha\cdot(-\vec{x} + \vec{y}) + \cos\theta_\alpha\cdot\vec{z} & \vec{\ell}_{16} &= \frac{1}{\sqrt{2}}\cdot\sin\theta_\alpha\cdot(\vec{x} - \vec{y}) + \cos\theta_\alpha\cdot\vec{z}
\end{aligned} \qquad (3.3.3)$$

όπου

$$\theta_\alpha = 180^\circ - \frac{\alpha}{2} \qquad (3.3.4)$$

με α την γωνία κορυφής του κώνου



Σχήμα 3.3.1: Μοναδιαία διανύσματα κατεύθυνσης των στοιχείων της Skeleton Discone.

Παραθέτουμε στη συνέχεια τις εκφράσεις του διαγράμματος ακτινοβολίας για τα στοιχεία του δίσκου.

$$\begin{aligned}\bar{\mathbb{E}}_1 = {} & \left(\frac{\dot{I}}{8\cdot\beta\cdot\sin(\beta\cdot h_d)}\right)\cdot\left(\frac{1}{1-\sin^2\theta\cdot\cos^2\varphi}\right)\cdot\{[\cos(\beta\cdot h_d\cdot\sin\theta\cdot\cos\varphi) - \cos(\beta\cdot h_d)] + \\ & + i\cdot[\sin(\beta\cdot h_d\cdot\sin\theta\cdot\cos\varphi) - \sin\theta\cdot\cos\varphi\cdot\sin(\beta\cdot h_d)]\}\cdot\begin{bmatrix}\cos\theta\cdot\cos\varphi \\ -\sin\varphi\end{bmatrix}\end{aligned} \qquad (3.3.5)$$

$$\begin{aligned}\bar{\mathbb{E}}_2 = {} & \left(\frac{\dot{I}}{8\cdot\beta\cdot\sin(\beta\cdot h_d)}\right)\cdot\left(\frac{1}{1-\sin^2\theta\cdot(\cos\varphi + \sin\varphi)^2}\right)\cdot \\ & \cdot\{[\cos(\beta\cdot h_d\cdot\frac{1}{\sqrt{2}}\cdot\sin\theta\cdot(\cos\varphi + \sin\varphi)) - \cos(\beta\cdot h_d)] + \\ & + i\cdot[\sin(\beta\cdot h_d\cdot\frac{1}{\sqrt{2}}\cdot\sin\theta\cdot(\cos\varphi + \sin\varphi)) - \frac{1}{\sqrt{2}}\cdot\sin\theta\cdot(\cos\varphi + \sin\varphi)\cdot\sin(\beta\cdot h_d)]\}\cdot \\ & \cdot\frac{1}{\sqrt{2}}\cdot\begin{bmatrix}\cos\theta\cdot(\cos\varphi + \sin\varphi) \\ -\sin\varphi + \cos\varphi\end{bmatrix}\end{aligned} \qquad (3.3.6)$$

$$\bar{\mathbb{E}}_3 = (\frac{\dot{I}}{8\cdot\beta\cdot\sin(\beta\cdot h_d)})\cdot(\frac{1}{1-\sin^2\theta\cdot\sin^2\varphi})\cdot\{[\cos(\beta\cdot h_d\cdot\sin\theta\cdot\sin\varphi) - \cos(\beta\cdot h_d)] + + i\cdot[\sin(\beta\cdot h_d\cdot\sin\theta\cdot\sin\varphi) - \sin\theta\cdot\sin\varphi\cdot\sin(\beta\cdot h_d)]\}\cdot\begin{bmatrix}\cos\theta\cdot\sin\varphi \\ \cos\varphi\end{bmatrix} \quad (3.3.7)$$

$$\bar{\mathbb{E}}_4 = (\frac{\dot{I}}{8\cdot\beta\cdot\sin(\beta\cdot h_d)})\cdot(\frac{1}{1-\sin^2\theta\cdot(-\cos\varphi + \sin\varphi)^2})\cdot \cdot\{[\cos(\beta\cdot h_d\cdot\frac{1}{\sqrt{2}}\cdot\sin\theta\cdot(-\cos\varphi + \sin\varphi)) - \cos(\beta\cdot h_d)] + + i\cdot[\sin(\beta\cdot h_d\cdot\frac{1}{\sqrt{2}}\cdot\sin\theta\cdot(-\cos\varphi + \sin\varphi)) - \frac{1}{\sqrt{2}}\cdot\sin\theta\cdot(-\cos\varphi + \sin\varphi)\cdot\sin(\beta\cdot h_d)]\}\cdot \cdot\frac{1}{\sqrt{2}}\cdot\begin{bmatrix}\cos\theta\cdot(-\cos\varphi + \sin\varphi) \\ \sin\varphi + \cos\varphi\end{bmatrix} \quad (3.3.8)$$

$$\bar{\mathbb{E}}_5 = (\frac{\dot{I}}{8\cdot\beta\cdot\sin(\beta\cdot h_d)})\cdot(\frac{1}{1-\sin^2\theta\cdot\cos^2\varphi})\cdot\{[\cos(\beta\cdot h_d\cdot\sin\theta\cdot\cos\varphi) - \cos(\beta\cdot h_d)] + + i\cdot[-\sin(\beta\cdot h_d\cdot\sin\theta\cdot\cos\varphi) + \sin\theta\cdot\cos\varphi\cdot\sin(\beta\cdot h_d)]\}\cdot\begin{bmatrix}-\cos\theta\cdot\cos\varphi \\ \sin\varphi\end{bmatrix} \quad (3.3.9)$$

$$\bar{\mathbb{E}}_6 = (\frac{\dot{I}}{8\cdot\beta\cdot\sin(\beta\cdot h_d)})\cdot(\frac{1}{1-\sin^2\theta\cdot(\cos\varphi + \sin\varphi)^2})\cdot \cdot\{[\cos(\beta\cdot h_d\cdot\frac{1}{\sqrt{2}}\cdot\sin\theta\cdot(\cos\varphi + \sin\varphi)) - \cos(\beta\cdot h_d)] + + i\cdot[-\sin(\beta\cdot h_d\cdot\frac{1}{\sqrt{2}}\cdot\sin\theta\cdot(\cos\varphi + \sin\varphi)) + \frac{1}{\sqrt{2}}\cdot\sin\theta\cdot(\cos\varphi + \sin\varphi)\cdot\sin(\beta\cdot h_d)]\}\cdot \cdot(-\frac{1}{\sqrt{2}})\cdot\begin{bmatrix}\cos\theta\cdot(\cos\varphi + \sin\varphi) \\ -\sin\varphi + \cos\varphi\end{bmatrix} \quad (3.3.10)$$

$$\bar{\mathbb{E}}_7 = (\frac{\dot{I}}{8\cdot\beta\cdot\sin(\beta\cdot h_d)})\cdot(\frac{1}{1-\sin^2\theta\cdot\sin^2\varphi})\cdot\{[\cos(\beta\cdot h_d\cdot\sin\theta\cdot\sin\varphi) - \cos(\beta\cdot h_d)] + + i\cdot[-\sin(\beta\cdot h_d\cdot\sin\theta\cdot\sin\varphi) + \sin\theta\cdot\sin\varphi\cdot\sin(\beta\cdot h_d)]\}\cdot\begin{bmatrix}-\cos\theta\cdot\sin\varphi \\ -\cos\varphi\end{bmatrix} \quad (3.3.11)$$

$$\bar{\mathbb{E}}_8 = \left(\frac{\dot{I}}{8\cdot\beta\cdot\sin(\beta\cdot h_d)}\right)\cdot\left(\frac{1}{1-\sin^2\theta\cdot(\cos\varphi - \sin\varphi)^2}\right)\cdot$$
$$\cdot\{[\cos(\beta\cdot h_d\cdot\frac{1}{\sqrt{2}}\cdot\sin\theta\cdot(\cos\varphi - \sin\varphi)) - \cos(\beta\cdot h_d)] +$$
$$+ i\cdot[\sin(\beta\cdot h_d\cdot\frac{1}{\sqrt{2}}\cdot\sin\theta\cdot(\cos\varphi - \sin\varphi)) - \frac{1}{\sqrt{2}}\cdot\sin\theta\cdot(\cos\varphi - \sin\varphi)\cdot\sin(\beta\cdot h_d)]\}\cdot \tag{3.3.12}$$
$$\cdot\frac{1}{\sqrt{2}}\cdot\begin{bmatrix}\cos\theta\cdot(\cos\varphi - \sin\varphi)\\ -\sin\varphi - \cos\varphi\end{bmatrix}$$

Προσθέτοντας το διάγραμμα ακτινοβολίας των οκτώ αυτών στοιχείων παίρνουμε

$$\bar{\mathbb{E}}_D = \left(\frac{\dot{I}\cdot 2\cdot i}{8\cdot\beta\cdot\sin(\beta\cdot h_d)}\right)\cdot\begin{bmatrix}\cos\theta\cdot((A + \Gamma - \Delta)\cdot\cos\varphi + (B + \Gamma + \Delta)\cdot\sin\varphi)\\ (B + \Gamma + \Delta)\cdot\cos\varphi - (A + \Gamma - \Delta)\cdot\sin\varphi\end{bmatrix} \tag{3.3.13}$$

όπου

$$A \equiv \left(\frac{1}{1-\sin^2\theta\cdot\cos^2\varphi}\right)\cdot[\sin(\beta\cdot h_d\cdot\sin\theta\cdot\cos\varphi) - \sin\theta\cdot\cos\varphi\cdot\sin(\beta\cdot h_d)] \tag{3.3.14}$$

$$B \equiv \left(\frac{1}{1-\sin^2\theta\cdot\sin^2\varphi}\right)\cdot[\sin(\beta\cdot h_d\cdot\sin\theta\cdot\sin\varphi) - \sin\theta\cdot\sin\varphi\cdot\sin(\beta\cdot h_d)] \tag{3.3.15}$$

$$\Gamma \equiv \left(\frac{1}{1-\sin^2\theta\cdot(\cos\varphi + \sin\varphi)^2}\right)\cdot[\sin(\beta\cdot h_d\cdot\frac{1}{\sqrt{2}}\cdot\sin\theta\cdot(\cos\varphi + \sin\varphi)) - $$
$$- \frac{1}{\sqrt{2}}\cdot\sin\theta\cdot(\cos\varphi + \sin\varphi)\cdot\sin(\beta\cdot h_d)] \tag{3.3.16}$$

$$\Delta \equiv \left(\frac{1}{1-\sin^2\theta\cdot(-\cos\varphi + \sin\varphi)^2}\right)\cdot[\sin(\beta\cdot h_d\cdot\frac{1}{\sqrt{2}}\cdot\sin\theta\cdot(-\cos\varphi + \sin\varphi)) - $$
$$- \frac{1}{\sqrt{2}}\cdot\sin\theta\cdot(-\cos\varphi + \sin\varphi)\cdot\sin(\beta\cdot h_d)] \tag{3.3.17}$$

Οι εκφράσεις του διαγράμματος ακτινοβολίας για τα στοιχεία του κώνου είναι:

$$\overline{\mathbb{E}}_9 = \left(\frac{-\dot{I}}{8\cdot\beta\cdot\sin(\beta\cdot h_c)}\right)\cdot\left(\frac{1}{1-(\sin\theta_\alpha\cdot\sin\theta\cdot\cos\varphi + \cos\theta_\alpha\cdot\cos\theta)^2}\right)\cdot$$
$$\cdot\{[\cos(\beta\cdot h_c\cdot(\sin\theta_\alpha\cdot\sin\theta\cdot\cos\varphi + \cos\theta_\alpha\cdot\cos\theta)) - \cos(\beta\cdot h_c)] +$$
$$+ i\cdot[\sin(\beta\cdot h_c\cdot(\sin\theta_\alpha\cdot\sin\theta\cdot\cos\varphi + \cos\theta_\alpha\cdot\cos\theta)) - \tag{3.3.18}$$
$$- (\sin\theta_\alpha\cdot\sin\theta\cdot\cos\varphi + \cos\theta_\alpha\cdot\cos\theta)\cdot\sin(\beta\cdot h_c)]\}\cdot\begin{bmatrix}\sin\theta_\alpha\cdot\cos\theta\cdot\cos\varphi - \cos\theta_\alpha\cdot\sin\theta) \\ -\sin\theta_\alpha\cdot\sin\varphi\end{bmatrix}$$

$$\overline{\mathbb{E}}_{10} = \left(\frac{-\dot{I}}{8\cdot\beta\cdot\sin(\beta\cdot h_c)}\right)\cdot\left(\frac{1}{1-(\frac{1}{\sqrt{2}}\cdot\sin\theta_\alpha\cdot\sin\theta\cdot(\cos\varphi + \sin\varphi) + \cos\theta_\alpha\cdot\cos\theta)^2}\right)\cdot$$
$$\cdot\{[\cos(\beta\cdot h_c\cdot(\frac{1}{\sqrt{2}}\cdot\sin\theta_\alpha\cdot\sin\theta\cdot(\cos\varphi + \sin\varphi) + \cos\theta_\alpha\cdot\cos\theta)) - \cos(\beta\cdot h_c)] +$$
$$+ i\cdot[\sin(\beta\cdot h_c\cdot(\frac{1}{\sqrt{2}}\cdot\sin\theta_\alpha\cdot\sin\theta\cdot(\cos\varphi + \sin\varphi) + \cos\theta_\alpha\cdot\cos\theta)) - \tag{3.3.19}$$
$$- (\frac{1}{\sqrt{2}}\cdot\sin\theta_\alpha\cdot\sin\theta\cdot(\cos\varphi + \sin\varphi) + \cos\theta_\alpha\cdot\cos\theta)\cdot\sin(\beta\cdot h_c)]\}\cdot$$
$$\cdot\begin{bmatrix}\frac{1}{\sqrt{2}}\cdot\sin\theta_\alpha\cdot\cos\theta\cdot(\cos\varphi + \sin\varphi) - \cos\theta_\alpha\cdot\sin\theta) \\ \frac{1}{\sqrt{2}}\cdot\sin\theta_\alpha\cdot(-\sin\varphi + \cos\varphi)\end{bmatrix}$$

$$\overline{\mathbb{E}}_{11} = \left(\frac{-\dot{I}}{8\cdot\beta\cdot\sin(\beta\cdot h_c)}\right)\cdot\left(\frac{1}{1-(\sin\theta_\alpha\cdot\sin\theta\cdot\sin\varphi + \cos\theta_\alpha\cdot\cos\theta)^2}\right)\cdot$$
$$\cdot\{[\cos(\beta\cdot h_c\cdot(\sin\theta_\alpha\cdot\sin\theta\cdot\sin\varphi + \cos\theta_\alpha\cdot\cos\theta)) - \cos(\beta\cdot h_c)] +$$
$$+ i\cdot[\sin(\beta\cdot h_c\cdot(\sin\theta_\alpha\cdot\sin\theta\cdot\sin\varphi + \cos\theta_\alpha\cdot\cos\theta)) - \tag{3.3.20}$$
$$- (\sin\theta_\alpha\cdot\sin\theta\cdot\sin\varphi + \cos\theta_\alpha\cdot\cos\theta)\cdot\sin(\beta\cdot h_c)]\}\cdot\begin{bmatrix}\sin\theta_\alpha\cdot\cos\theta\cdot\sin\varphi - \cos\theta_\alpha\cdot\sin\theta) \\ \sin\theta_\alpha\cdot\cos\varphi\end{bmatrix}$$

$$\overline{\mathbb{E}}_{12} = \left(\frac{-\dot{I}}{8\cdot\beta\cdot\sin(\beta\cdot h_c)}\right)\cdot\left(\frac{1}{1-\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\cdot\sin\theta_\alpha\cdot\sin\theta\cdot(-\cos\varphi+\sin\varphi)+\cos\theta_\alpha\cdot\cos\theta\right)^2}\right)\cdot$$
$$\cdot\{[\cos(\beta\cdot h_c\cdot(\frac{1}{\sqrt{2}}\cdot\sin\theta_\alpha\cdot\sin\theta\cdot(-\cos\varphi+\sin\varphi)+\cos\theta_\alpha\cdot\cos\theta))-\cos(\beta\cdot h_c)]+$$
$$+\,i\cdot[\sin(\beta\cdot h_c\cdot(\frac{1}{\sqrt{2}}\cdot\sin\theta_\alpha\cdot\sin\theta\cdot(-\cos\varphi+\sin\varphi)+\cos\theta_\alpha\cdot\cos\theta))- \qquad (3.3.21)$$
$$-\,(\frac{1}{\sqrt{2}}\cdot\sin\theta_\alpha\cdot\sin\theta\cdot(-\cos\varphi+\sin\varphi)+\cos\theta_\alpha\cdot\cos\theta)\cdot\sin(\beta\cdot h_c)]\}\cdot$$
$$\cdot\begin{bmatrix}\frac{1}{\sqrt{2}}\cdot\sin\theta_\alpha\cdot\cos\theta\cdot(-\cos\varphi+\sin\varphi)-\cos\theta_\alpha\cdot\sin\theta) \\ \frac{1}{\sqrt{2}}\cdot\sin\theta_\alpha\cdot(\sin\varphi+\cos\varphi)\end{bmatrix}$$

$$\overline{\mathbb{E}}_{13} = \left(\frac{-\dot{I}}{8\cdot\beta\cdot\sin(\beta\cdot h_c)}\right)\cdot\left(\frac{1}{1-(-\sin\theta_\alpha\cdot\sin\theta\cdot\cos\varphi+\cos\theta_\alpha\cdot\cos\theta)^2}\right)\cdot$$
$$\cdot\{[\cos(\beta\cdot h_c\cdot(-\sin\theta_\alpha\cdot\sin\theta\cdot\cos\varphi+\cos\theta_\alpha\cdot\cos\theta))-\cos(\beta\cdot h_c)]+$$
$$+\,i\cdot[\sin(\beta\cdot h_c\cdot(-\sin\theta_\alpha\cdot\sin\theta\cdot\cos\varphi+\cos\theta_\alpha\cdot\cos\theta))- \qquad (3.3.22)$$
$$-\,(-\sin\theta_\alpha\cdot\sin\theta\cdot\cos\varphi+\cos\theta_\alpha\cdot\cos\theta)\cdot\sin(\beta\cdot h_c)]\}\cdot$$
$$\cdot\begin{bmatrix}-\sin\theta_\alpha\cdot\cos\theta\cdot\cos\varphi-\cos\theta_\alpha\cdot\sin\theta) \\ \sin\theta_\alpha\cdot\sin\varphi\end{bmatrix}$$

$$\overline{\mathbb{E}}_{14} = \left(\frac{-\dot{I}}{8\cdot\beta\cdot\sin(\beta\cdot h_c)}\right)\cdot\left(\frac{1}{1-\left(-\frac{1}{\sqrt{2}}\cdot\sin\theta_\alpha\cdot\sin\theta\cdot(\cos\varphi+\sin\varphi)+\cos\theta_\alpha\cdot\cos\theta\right)^2}\right)\cdot$$
$$\cdot\{[\cos(\beta\cdot h_c\cdot(-\frac{1}{\sqrt{2}}\cdot\sin\theta_\alpha\cdot\sin\theta\cdot(\cos\varphi+\sin\varphi)+\cos\theta_\alpha\cdot\cos\theta))-\cos(\beta\cdot h_c)]+$$
$$+\,i\cdot[\sin(\beta\cdot h_c\cdot(-\frac{1}{\sqrt{2}}\cdot\sin\theta_\alpha\cdot\sin\theta\cdot(\cos\varphi+\sin\varphi)+\cos\theta_\alpha\cdot\cos\theta))- \qquad (3.3.23)$$
$$-\,(-\frac{1}{\sqrt{2}}\cdot\sin\theta_\alpha\cdot\sin\theta\cdot(\cos\varphi+\sin\varphi)+\cos\theta_\alpha\cdot\cos\theta)\cdot\sin(\beta\cdot h_c)]\}\cdot$$
$$\cdot\begin{bmatrix}-\frac{1}{\sqrt{2}}\cdot\sin\theta_\alpha\cdot\cos\theta\cdot(\cos\varphi+\sin\varphi)-\cos\theta_\alpha\cdot\sin\theta) \\ -\frac{1}{\sqrt{2}}\cdot\sin\theta_\alpha\cdot(-\sin\varphi+\cos\varphi)\end{bmatrix}$$

$$\overline{\mathbb{E}}_{15} = (\frac{-\dot{I}}{8\cdot\beta\cdot\sin(\beta\cdot h_c)})\cdot(\frac{1}{1-(-\sin\theta_\alpha\cdot\sin\theta\cdot\sin\varphi + \cos\theta_\alpha\cdot\cos\theta)^2})\cdot$$
$$\cdot\{[\cos(\beta\cdot h_c\cdot(-\sin\theta_\alpha\cdot\sin\theta\cdot\sin\varphi + \cos\theta_\alpha\cdot\cos\theta)) - \cos(\beta\cdot h_c)] +$$
$$+ i\cdot[\sin(\beta\cdot h_c\cdot(-\sin\theta_\alpha\cdot\sin\theta\cdot\sin\varphi + \cos\theta_\alpha\cdot\cos\theta)) - \tag{3.3.24}$$
$$- (-\sin\theta_\alpha\cdot\sin\theta\cdot\sin\varphi + \cos\theta_\alpha\cdot\cos\theta)\cdot\sin(\beta\cdot h_c)]\}\cdot\begin{bmatrix} -\sin\theta_\alpha\cdot\cos\theta\cdot\sin\varphi - \cos\theta_\alpha\cdot\sin\theta) \\ -\sin\theta_\alpha\cdot\cos\varphi \end{bmatrix}$$

$$\overline{\mathbb{E}}_{16} = (\frac{-\dot{I}}{8\cdot\beta\cdot\sin(\beta\cdot h_c)})\cdot(\frac{1}{1-(\frac{1}{\sqrt{2}}\cdot\sin\theta_\alpha\cdot\sin\theta\cdot(\cos\varphi - \sin\varphi) + \cos\theta_\alpha\cdot\cos\theta)^2})\cdot$$
$$\cdot\{[\cos(\beta\cdot h_c\cdot(\frac{1}{\sqrt{2}}\cdot\sin\theta_\alpha\cdot\sin\theta\cdot(\cos\varphi - \sin\varphi) + \cos\theta_\alpha\cdot\cos\theta)) - \cos(\beta\cdot h_c)] +$$
$$+ i\cdot[\sin(\beta\cdot h_c\cdot(\frac{1}{\sqrt{2}}\cdot\sin\theta_\alpha\cdot\sin\theta\cdot(\cos\varphi - \sin\varphi) + \cos\theta_\alpha\cdot\cos\theta)) - \tag{3.3.25}$$
$$- (\frac{1}{\sqrt{2}}\cdot\sin\theta_\alpha\cdot\sin\theta\cdot(\cos\varphi - \sin\varphi) + \cos\theta_\alpha\cdot\cos\theta)\cdot\sin(\beta\cdot h_c)]\}\cdot$$
$$\cdot\begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}}\cdot\sin\theta_\alpha\cdot\cos\theta\cdot(\cos\varphi - \sin\varphi) - \cos\theta_\alpha\cdot\sin\theta) \\ \frac{1}{\sqrt{2}}\cdot\sin\theta_\alpha\cdot(-\sin\varphi - \cos\varphi) \end{bmatrix}$$

Προσθέτοντας το διάγραμμα ακτινοβολίας των οκτώ στοιχείων του κώνου δυστυχώς δεν κατέστη δυνατή μια απλοποίηση του μακροσκελή αυτού τύπου οπότε θα θεωρήσουμε τον γενικό τύπο

$$\overline{\mathbb{E}}_C = \sum_{i=9}^{16} \overline{\mathbb{E}}_i \tag{3.3.26}$$

για το συνολικό διάγραμμα ακτινοβολίας του κώνου.

3.4 : Εφαρμογή της συνάρτησης του Διαγράμματος Ακτινοβολίας.

Για να γίνει δυνατή η εφαρμογή της γενικής έκφρασης (3.3.1) για οποιαδήποτε Skeleton Discone κεραία με οκτώ ακτίνες για το δίσκο και οκτώ ακτίνες για τον κώνο προχωρήσαμε στη σύνταξη προγράμματος σε γλώσσα FORTRAN, η οποία διαθέτει τις κατάλληλες συναρτήσεις για τη διαχείριση μιγαδικών αριθμών. Θεωρήσαμε μιγαδικό πλάτος ρεύματος 1 με όρισμα 0°. Το πρόγραμμα δίνει το κανονικοποιημένο διάγραμμα ακτινοβολίας στα τρία κύρια επίπεδα (zOx, xOy, yOz) και στο χώρο.

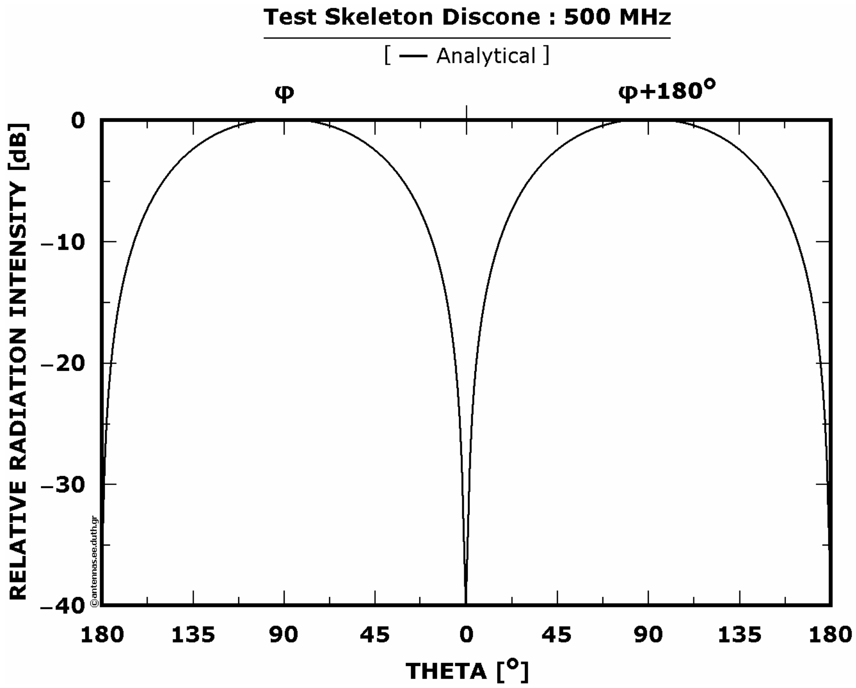
Στη συνέχεια εφαρμόσαμε τη συνάρτηση αυτή του διαγράμματος ακτινοβολίας για ένα δοκιμαστικό μοντέλο Skeleton Discone που επρόκειτο και να κατασκευαστεί με γωνία κορυφής κώνου 60°, απόστημα κώνου L, 15.0cm και διάμετρο δίσκου D, 26.0cm. Ενδεικτικά δίνουμε τα μοναδιαία διανύσματα κατεύθυνσης των ακτίνων του κώνου για την γωνία των 60° από τις σχέσεις (3.3.3) και (3.3.4)

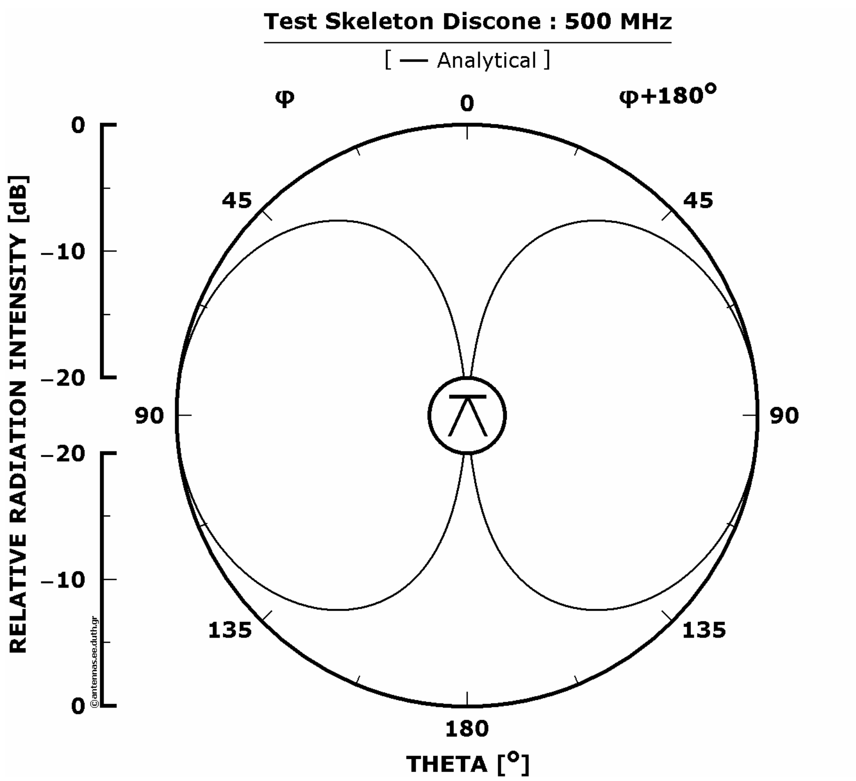
$$\theta_\alpha = 180° - \frac{\alpha}{2} = 180° - 30° = 150° \qquad (3.4.1)$$

$$\begin{aligned}
\vec{\ell}_9 &= \frac{1}{2}\cdot\vec{x} - \frac{\sqrt{3}}{2}\cdot\vec{z} & \vec{\ell}_{13} &= -\frac{1}{2}\cdot\vec{x} - \frac{\sqrt{3}}{2}\cdot\vec{z} \\
\vec{\ell}_{10} &= \frac{1}{2}\cdot\frac{1}{\sqrt{2}}\cdot(\vec{x} + \vec{y}) - \frac{\sqrt{3}}{2}\cdot\vec{z} & \vec{\ell}_{14} &= -\frac{1}{2}\cdot\frac{1}{\sqrt{2}}\cdot(\vec{x} + \vec{y}) - \frac{\sqrt{3}}{2}\cdot\vec{z} \\
\vec{\ell}_{11} &= \frac{1}{2}\cdot\vec{y} - \frac{\sqrt{3}}{2}\cdot\vec{z} & \vec{\ell}_{15} &= -\frac{1}{2}\cdot\vec{y} - \frac{\sqrt{3}}{2}\cdot\vec{z} \\
\vec{\ell}_{12} &= \frac{1}{2}\cdot\frac{1}{\sqrt{2}}\cdot(-\vec{x} + \vec{y}) - \frac{\sqrt{3}}{2}\cdot\vec{z} & \vec{\ell}_{16} &= \frac{1}{2}\cdot\frac{1}{\sqrt{2}}\cdot(\vec{x} - \vec{y}) - \frac{\sqrt{3}}{2}\cdot\vec{z}
\end{aligned} \qquad (3.4.2)$$

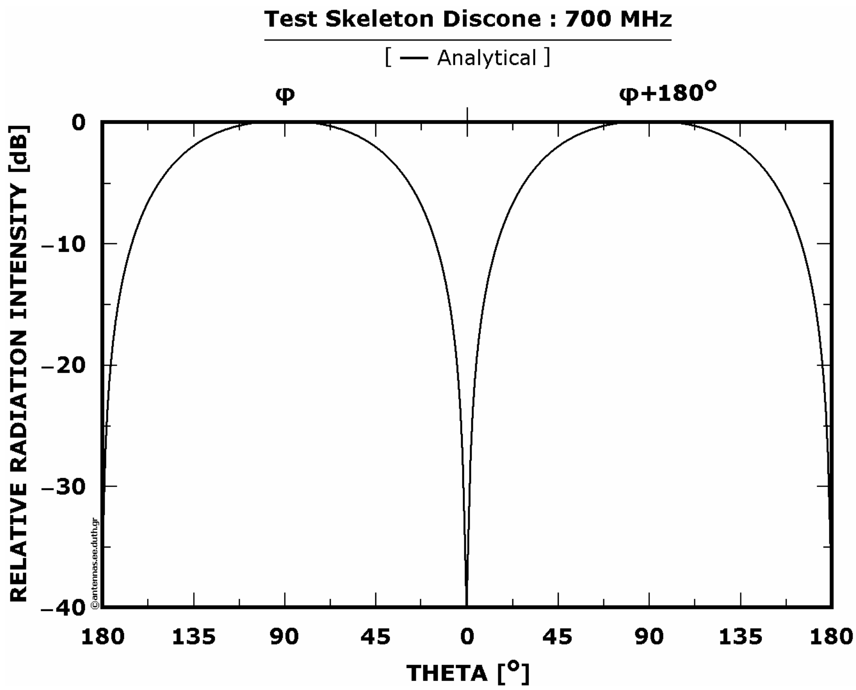
Στα Σχήματα 3.4.1-3.4.10 δίνουμε τα διαγράμματα σχετικής έντασης ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο, στο οριζόντιο επίπεδο και στο χώρο για αυτήν την κεραία όπως προκύπτουν με αποτίμηση της γενικής έκφρασης για το διάγραμμα ακτινοβολίας βάση της σχέσης

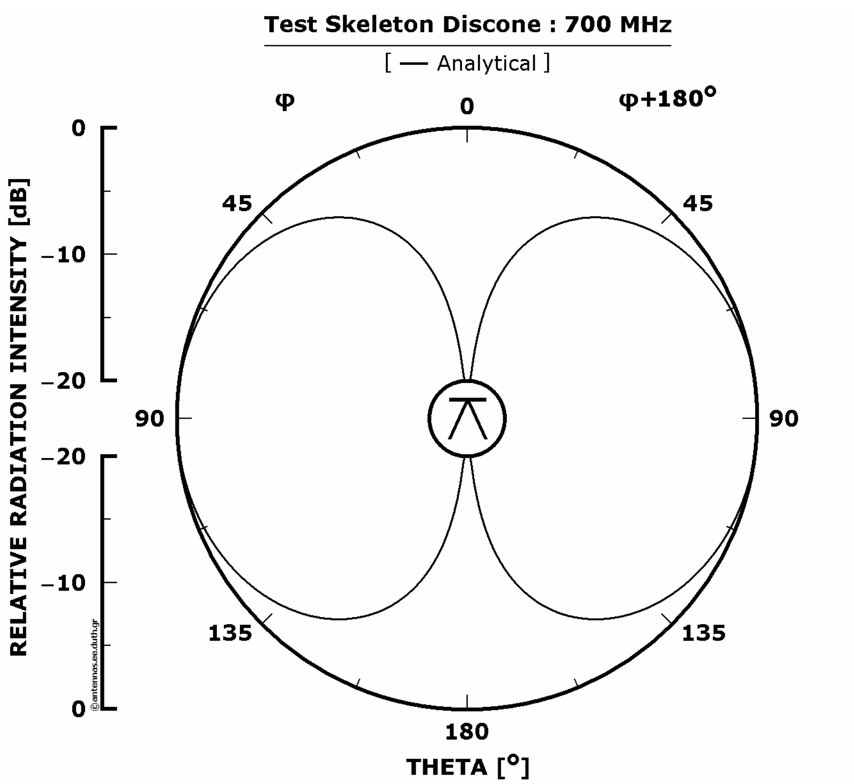
$$\mathcal{U} = 20\cdot \mathrm{Log}(\mathcal{E}) \ \ [\mathrm{dB}] \qquad (3.4.3)$$



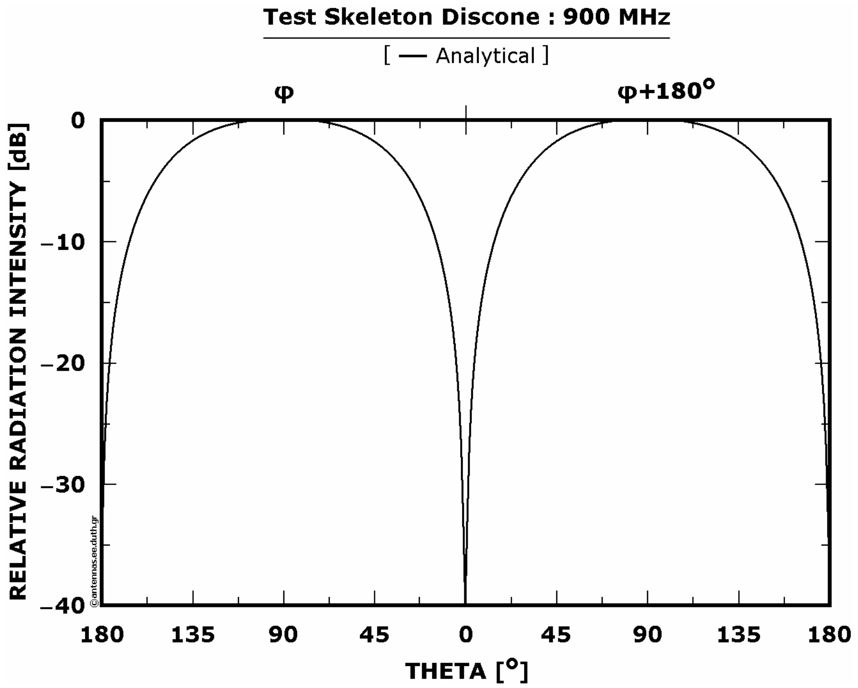


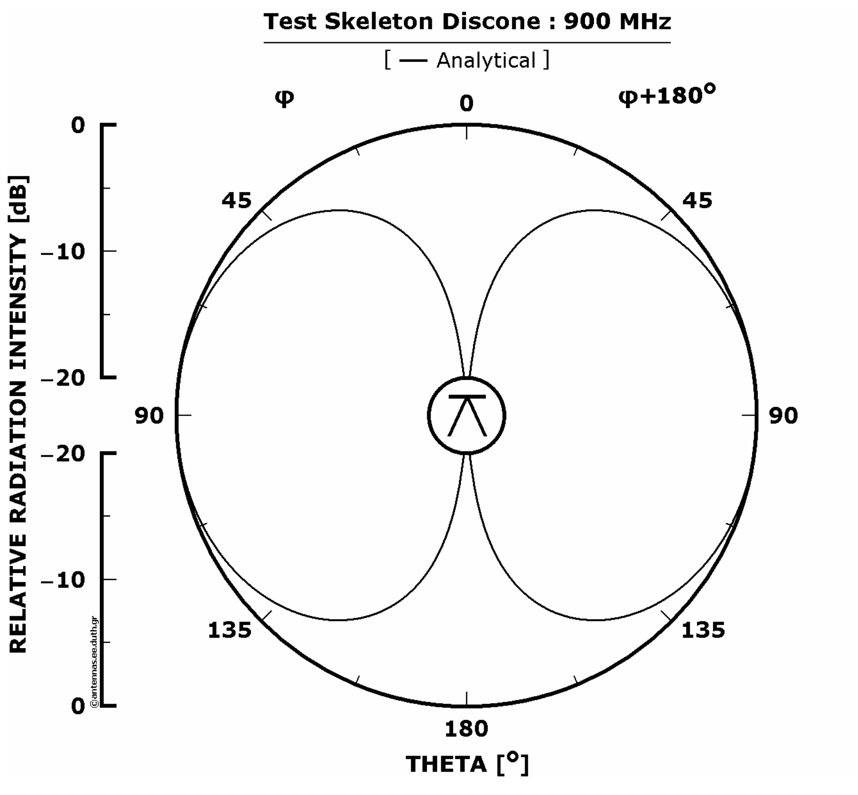
Σχήμα 3.4.1: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



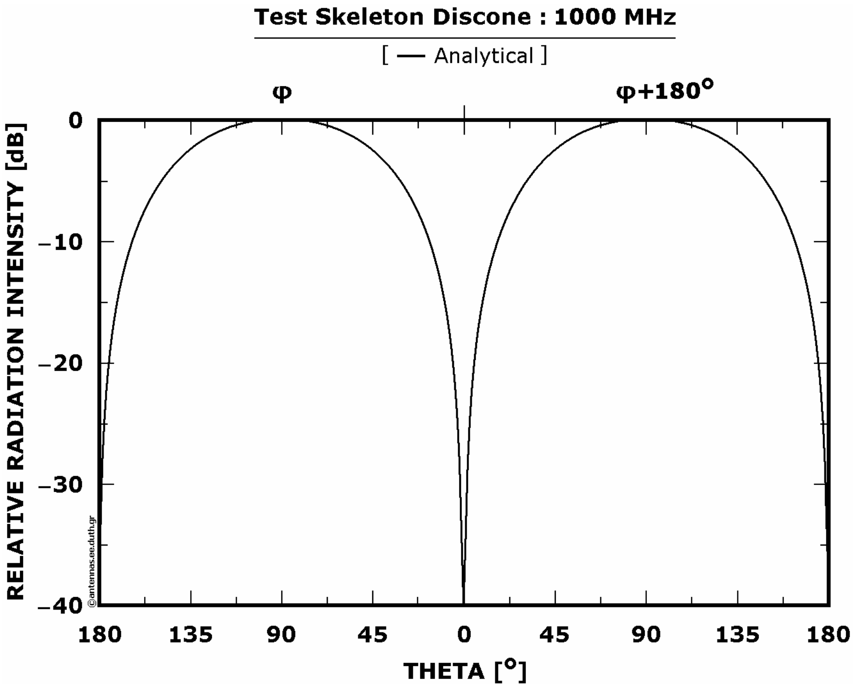


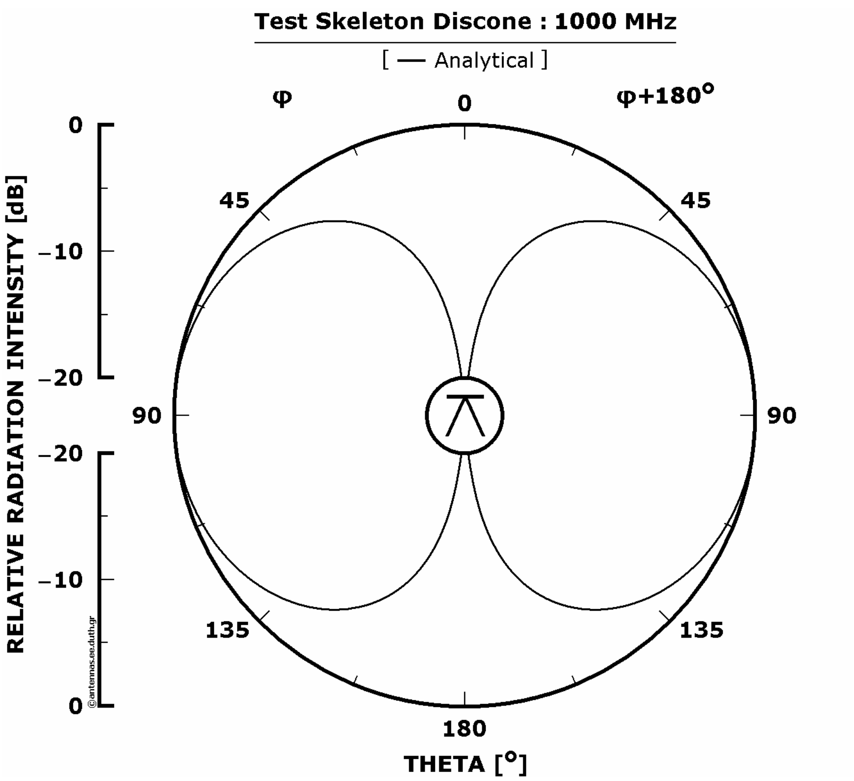
Σχήμα 3.4.2: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



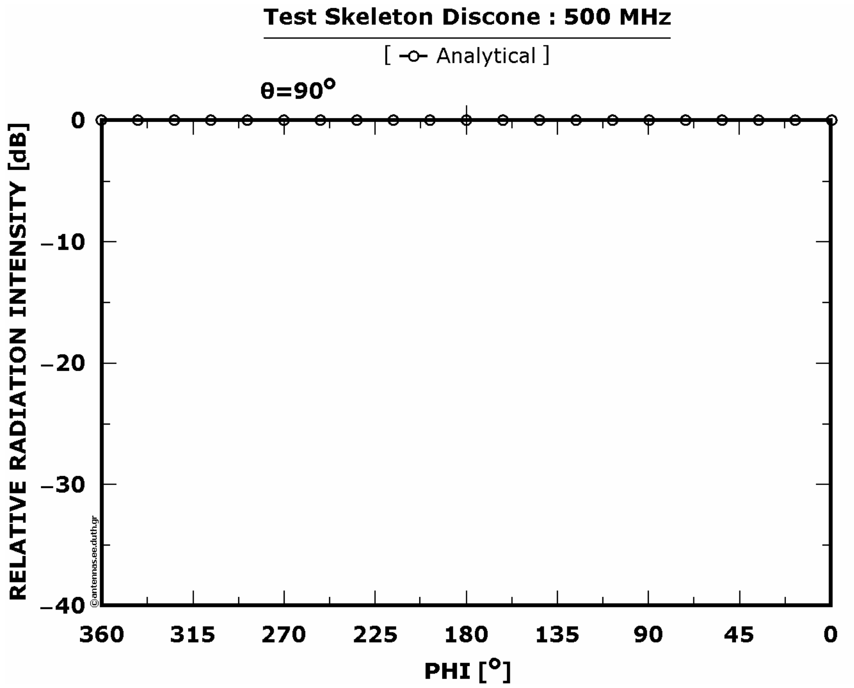


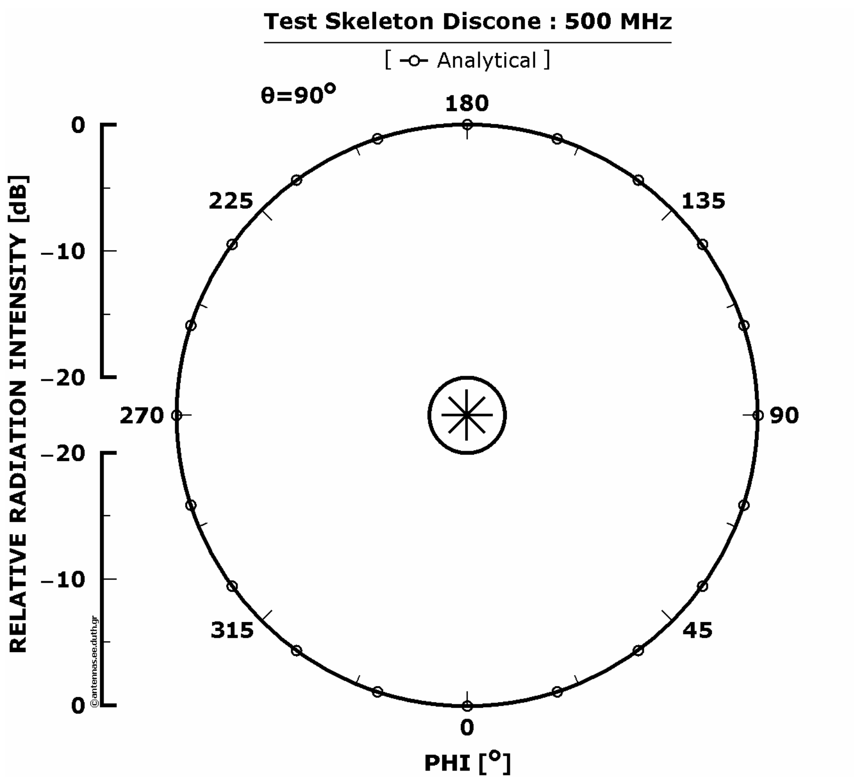
Σχήμα 3.4.3: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



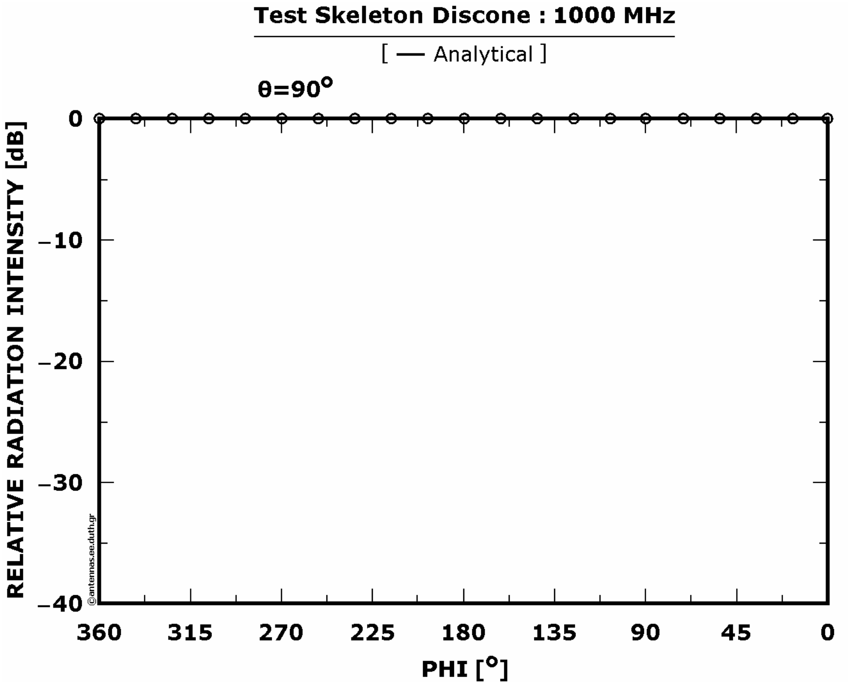


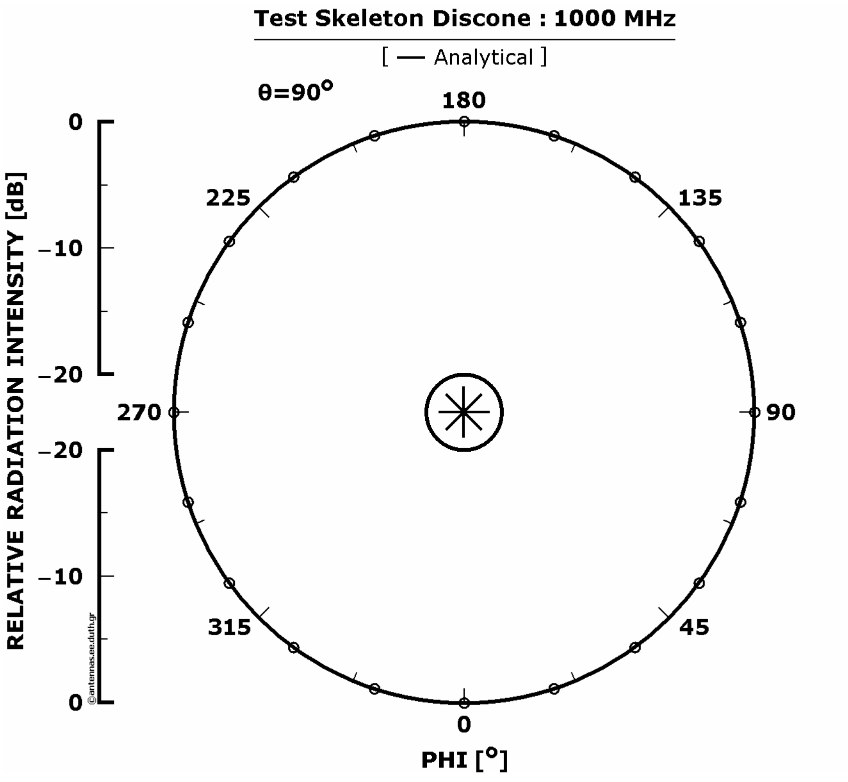
Σχήμα 3.4.4: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



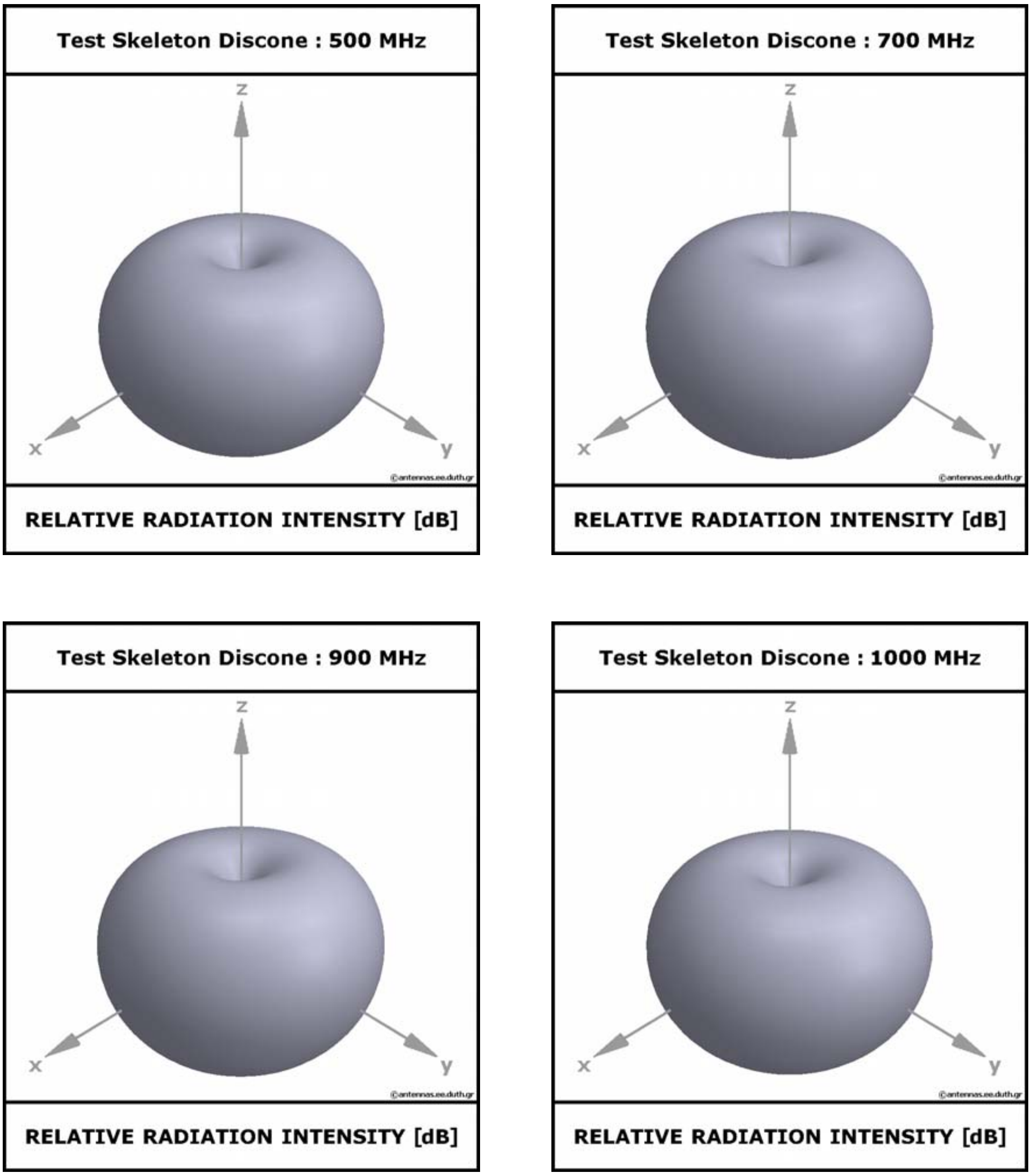


Σχήμα 3.4.5: Σχετική ένταση ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο.





<u>Σχήμα 3.4.6</u>: Σχετική ένταση ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο.



Σχήμα 3.4.7: Σχετική ένταση ακτινοβολίας.

Για τα επίπεδα διαγράμματα σχετικής έντασης ακτινοβολίας η αποτίμηση έγινε ανά 1°, ενώ για τα διαγράμματα στο χώρο ανά 5°. Τέλος, παραθέσαμε τα διαγράμματα στο xOy επίπεδο μόνο για τις συχνότητες 500MHz και 1000MHz ενδεικτικά αφού σε όλες τις συχνότητες παίρναμε κυκλικό διάγραμμα.

Κεφάλαιο 4 : Σχεδιασμός Skeleton Discone κεραίας.

4.1 : Εισαγωγή.

Η αναζήτηση στη βιβλιογραφία κεραίας που να ικανοποιεί τους δύο στόχους της εργασίας αυτής, οι οποίοι είναι:

(1) Ικανοποιητική προσαρμογή της αντίστασης εισόδου και
(2) στο οριζόντιο επίπεδο: σχεδόν παγκατευθυντικό διάγραμμα ακτινοβολίας ανά συχνότητα και με αποδεκτή μεταβολή της έντασης ακτινοβολίας συνολικά.

μας οδήγησε στην κεραία Discone.

Ο πρώτος στόχος που είναι η κάλυψη ευρείας περιοχής συχνοτήτων, και εάν είναι δυνατόν της ζώνης 800-2000MHz για εξυπηρέτηση και της GSM και της UMTS κινητής τηλεφωνίας, ή και έως 2500MHz ώστε να συμπεριλάβουμε και τα ασύρματα τοπικά δίκτυα (WLAN), υπαγορεύει την ανάδειξη του λόγου στασίμων κυμάτων τάσης VSWR ως βασική παράμετρο σχεδιασμού. Τίθεται όμως το ερώτημα μέχρι ποια τιμή του VSWR μπορούμε να θεωρήσουμε ως αποδεκτή;

Για να απαντήσουμε, χρησιμοποιούμε τρεις βασικές σχέσεις. Τη σχέση που συνδέει το VSWR με τον συντελεστή ανάκλασης τάσης $\dot{\rho}$, και πώς αυτός σχετίζεται με τη χαρακτηριστική αντίσταση της γραμμής μεταφοράς και την σύνθετη αντίσταση του φορτίου, [92],

$$\mathrm{VSWR} = \frac{1+|\dot{\rho}|}{1-|\dot{\rho}|} \qquad (4.1.1)$$

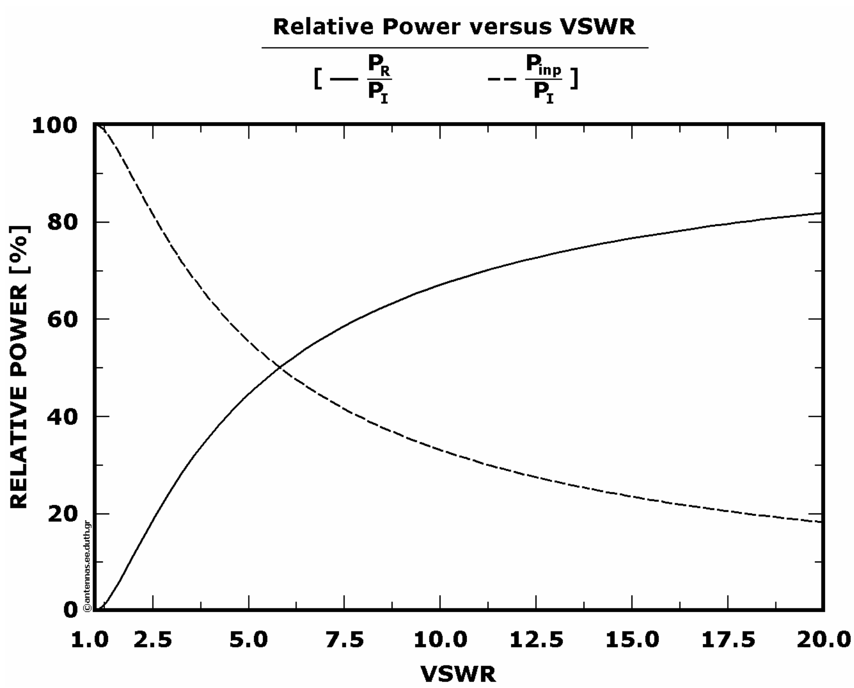
όπου

$$\dot{\rho} = \frac{\dot{z}-\dot{z}_0}{\dot{z}+\dot{z}_0} \qquad (4.1.2)$$

και τη σχέση που ισχύει για γραμμές μεταφοράς με χαρακτηριστική αντίσταση $\dot{z}_0$ που δεν είναι μιγαδική [93] η οποία συνδέει την ισχύ εισόδου στο φορτίο (κεραία) P_{inp} με την προσπίπτουσα P_I και την ανακλώμενη ισχύ P_R

$$P_{inp} = P_I - P_R \tag{4.1.3}$$

Στο Σχήμα 4.1.1 φαίνεται η γραφική παράσταση των λόγων των ισχύων P_R/P_I, P_{inp}/P_I συναρτήσει του VSWR σε ποσοστά % και στο Σχήμα 4.1.2 ένας περιορισμός της για VSWR έως 3. Επιλέξαμε αυτόν τον περιορισμό γιατί η τιμή 3 του VSWR αντιστοιχεί σε ανακλώμενη ισχύ 25% της προσπίπτουσας.

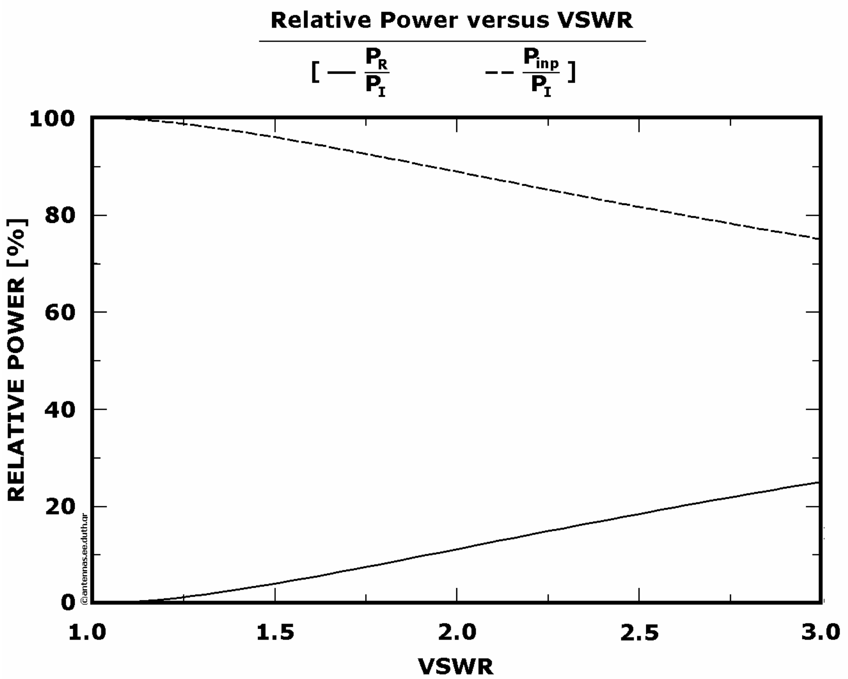


Σχήμα 4.1.1: Ανακλώμενη και Ισχύς Εισόδου προς προσπίπτουσα συναρτήσει του VSWR.

Από τις καμπύλες αυτές θεωρούμε ότι ένα καλό όριο για το VSWR είναι η τιμή 2 δηλαδή ~10% απώλεια ισχύος λόγω ανάκλασης. Αναφέρονται όμως από ερευνητές κεραίες με εύρος ζώνης οριζόμενο από VSWR≤2.5 δηλαδή με απώλειες ισχύος ~20%, [20], και διαφημίζονται στην αγορά κεραίες με εύρος ζώνης οριζόμενο από VSWR≤4.0 (36% απώλειες) [94].

Το γεγονός ότι η κεραία Skeleton Discone εμφανίζει ομοιόμορφο διάγραμμα ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο, όπως προέκυψε από τη θεωρητική μελέτη του

διαγράμματος ακτινοβολίας της, μας διευκολύνει στο σχεδιασμό και ουσιαστικά καθιστά την παράμετρο του VSWR βασικότερη.



Σχήμα 4.1.2: Ανακλώμενη και Ισχύς Εισόδου προς προσπίπτουσα συναρτήσει του VSWR.

4.2 : Προσομοίωση της κεραίας Skeleton Discone.

Η υπολογιστική μελέτη της κεραίας πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια του προγράμματος THINWIRE με κώδικα σε γλώσσα FORTRAN από τον J.H.Richmond, [95], όπως αυτό έχει τροποποιηθεί και διορθωθεί σε αρκετά σημεία, ως RICHWIRE, [96]. Είναι ένα πρόγραμμα εφαρμογής της μεθόδου των ροπών (Method of Moments, MoM) λεπτού σύρματος, όπου ο χαρακτηρισμός λεπτό αντιστοιχεί σε ακτίνα σύρματος που δεν υπερβαίνει το 0.01λ με λ το μήκος κύματος [89]. Η θεωρούμενη ρευματική κατανομή είναι η κατά τμήματα ημιτονοειδής ρευματική κατανομή η οποία απαιτεί την επίλυση ολοκληρωτικών εξισώσεων. Η περιοχή τροφοδοσίας προσομοιώθηκε με το μοντέλο σημειακής πηγής [90].

Τα δεδομένα εισόδου στο πρόγραμμα αυτό είναι η συχνότητα λειτουργίας, η αγωγιμότητα και η ακτίνα του σύρματος, η γεωμετρία του συρμάτινου μοντέλου ως σημεία και τμήματα, η θέση της πηγής και η μέθοδος ολοκλήρωσης. Στα δεδομένα εξόδου περιλαμβάνονται η αντίσταση εισόδου του μοντέλου, η κατευθυντικότητα και το διάγραμμα ακτινοβολίας.

Επειδή στην παρούσα εργασία έπρεπε να αναζητηθεί η κατάλληλη κεραία για την ικανοποίηση των στόχων μας, δεν είχαμε δηλαδή μια συγκεκριμένη κεραία προς μελέτη, η χρήση του προγράμματος αυτού μόνου του θα ήταν χρονοβόρα και άβολη. Έτσι, οδηγηθήκαμε στη σύνταξη του προγράμματος Skeleton Discone σε γλώσσα προγραμματισμού Visual Basic 6.0 για Windows το οποίο ουσιαστικά αποτελεί μια παραθυρική πλατφόρμα (GUI) για το RICHWIRE. Με το πρόγραμμα αυτό επιτυγχάνουμε την αυτοματοποίηση της επαναληπτικής χρήσης του RICHWIRE, και την απλοποίηση στην γεωμετρική περιγραφή των μοντέλων.

4.3 : Το πρόγραμμα Skeleton Discone.

Το πρόγραμμα Skeleton Discone αποτελεί ένα γενικό πρόγραμμα για την περιγραφή κεραιών Skeleton Discones αλλά και για την εξαγωγή της γεωμετρίας των μοντέλων σε τρεις διαστάσεις για τον άμεσο έλεγχο της ορθότητάς της, όπως και του διαγράμματος ακτινοβολίας στο χώρο και στα τρία κύρια επίπεδα zOx, xOy, yOz. Όλες οι παράμετροι της προσομοίωσης μιας Skeleton Discone κεραίας είναι μεταβλητές. Για τα γραφικά του προγράμματος χρησιμοποιήθηκαν οι ιδέες από την εφαρμογή RADPAT v.4.3.7 για Windows [97]. Στο Σχήμα 4.3.1 φαίνεται το αρχικό παράθυρο του προγράμματος.

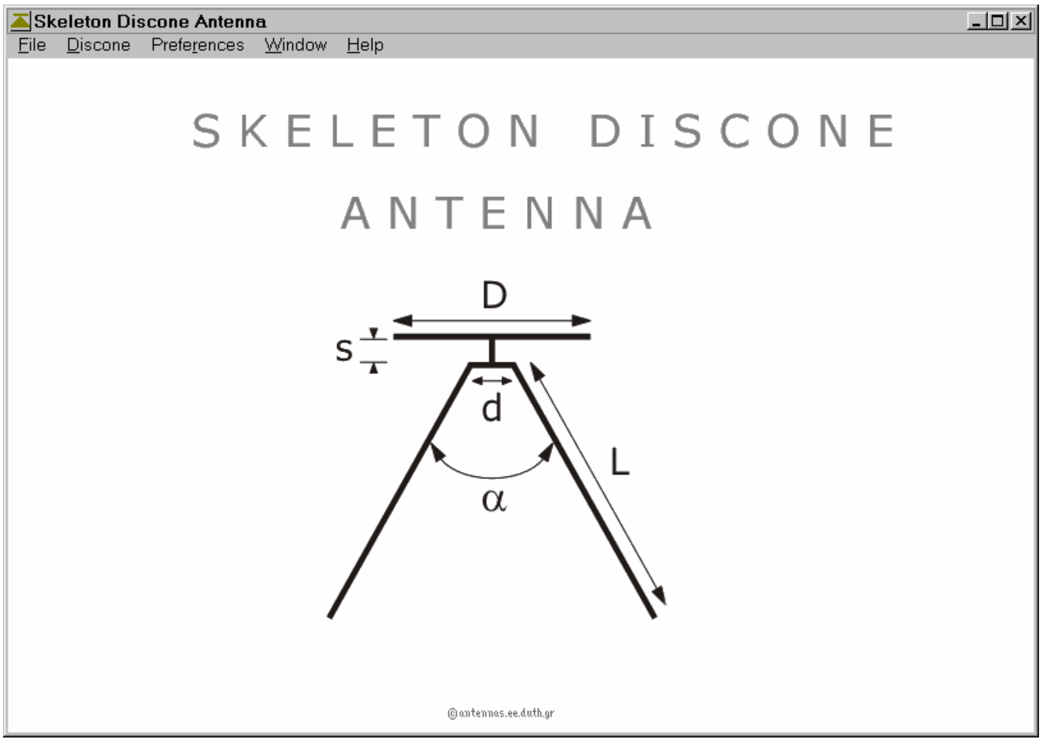
Από τις δύο τυποποιήσεις για τις διαστάσεις μιας Discone κεραίας, του Nail σχέσεις (2.2.1) και του Rappaport σχέσεις (2.2.3), εκείνες που εξακολουθούν να ισχύουν για την Skeleton Discone δίνονται από τις σχέσεις (4.3.1), (4.3.2) αντίστοιχα. Παραλείψαμε την παράμετρο w που αντιστοιχεί στη διάμετρο του σύρματος μεταξύ δίσκου και κώνου από την τυποποίηση του Rappaport λόγω αδυναμίας περιγραφής της στο πρόγραμμα προσομοίωσης.

$$L = \frac{1}{4}\cdot\lambda_c, \quad D = 0.7\cdot C, \quad S = 0.3\cdot d \qquad (4.3.1)$$

και

$$L = 1.15\cdot\frac{1}{4}\cdot\lambda_c, \quad D = 0.75\cdot C, \quad S = 0.5\cdot d \qquad (4.3.2)$$

Τα μοντέλα των κεραιών που προκύπτουν αποτελούνται πάντα από έναν δίσκο παράλληλο στο xOy επίπεδο, υπερυψωμένο από την αρχή του συστήματος συντεταγμένων κατά s και από έναν κώνο ακριβώς κάτω από το επίπεδο αυτό. Κατακόρυφος άξονας των μοντέλων είναι ο άξονας z του συστήματος.



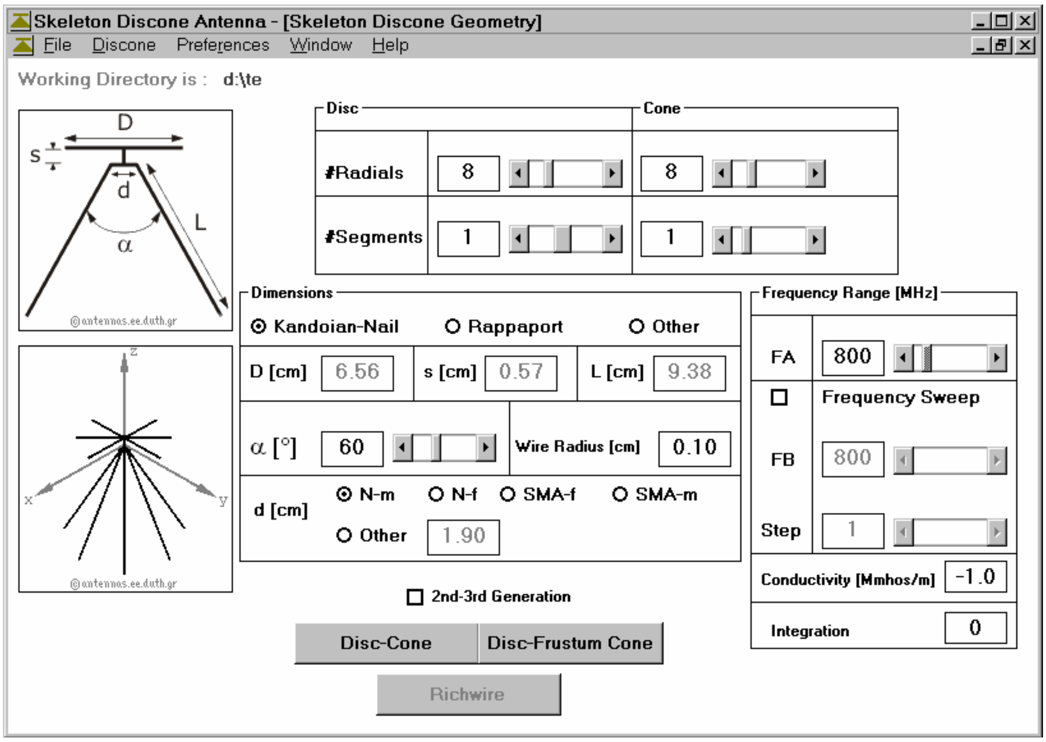
Σχήμα 4.3.1: Αρχικό παράθυρο του προγράμματος Skeleton Discone.

4.3.1: Το παράθυρο Skeleton Discone Geometry.

Το παράθυρο "Skeleton Discone Geometry" φαίνεται στο Σχήμα 4.3.1.1 με τις αρχικές ρυθμίσεις. Είναι το βασικό παράθυρο της εφαρμογής και εμφανίζεται αυτόματα με το άνοιγμα του προγράμματος σε 5sec ή πατώντας με το ποντίκι στην οθόνη ή μέσω του Menu: Discone-Skeleton Geometry. Τα δεδομένα εισόδου χωρίζονται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες με πλαίσια. Οι δύο πρώτες αφορούν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της κεραίας.

Στην πρώτη κατηγορία, πλαίσια Disc-Cone, προσδιορίζονται ο αριθμός των συρμάτινων ακτίνων από τις οποίες θα αποτελείται ο δίσκος και ο κώνος και ο αριθμός των τμημάτων στα οποία θα διαιρεθεί κάθε ακτίνα για την προσομοίωση. Δύο δυνατοί τρόποι υπάρχουν για την εισαγωγή των στοιχείων αυτών: είτε με πληκτρολόγηση που ακολουθείται από ENTER, με την προϋπόθεση να εισαχθούν φυσικοί αριθμοί, είτε με τις μπάρες κύλισης όπου η ελάχιστη αλλαγή αντιστοιχεί σε μία μονάδα και η μέγιστη σε 2 μονάδες. Ένας περιορισμός στον αριθμό των ακτίνων επιβάλλεται από τον τύπο του συνδετήρα και την ακτίνα του σύρματος που θα χρησιμοποιηθούν. Η ακτίνα του σύρματος επιβάλλει και έναν περιορισμό στο μέγιστο αριθμό των τμημάτων κάθε συρμάτινης ακτίνας, αφού τμήμα μήκους μικρότερου από τη διά-

μετρο του σύρματος παραβιάζει τη θεώρηση λεπτού σύρματος του RICHWIRE. Ο ελάχιστος αριθμός των τμημάτων καθορίζεται από τη μέγιστη διάσταση της κεραίας και το ελάχιστο μήκος κύματος. Οι έλεγχοι γίνονται αυτόματα από το πρόγραμμα.



Σχήμα 4.3.1.1: Παράθυρο Skeleton Discone Geometry.

Η δεύτερη κατηγορία αφορά τις διαστάσεις της Skeleton Discone. Δίδεται η δυνατότητα επιλογής μεταξύ της τυποποίησης του Nail, που για λόγους ιστορικούς και μόνον αναφέρεται ως Kandoian-Nail, της τυποποίησης του Rappaport και άλλης (Other). Για τις δύο πρώτες εφαρμόζονται οι σχέσεις (4.3.1) και (4.3.2) αντίστοιχα. Εάν επιλέξουμε άλλη, δηλαδή πατήσουμε το κουμπί επιλογής Other τότε πρέπει να πληκτρολογήσουμε τις διαστάσεις που επιθυμούμε σε [cm] και να πατήσουμε ENTER για να καταχωρηθούν.

Η γωνία του κώνου α είναι ανεξάρτητη των τυποποιήσεων και καθορίζεται είτε με εισαγωγή από το πληκτρολόγιο είτε με την μπάρα κύλισης. Το ίδιο ισχύει για τη διάμετρο d που ουσιαστικά επιβάλλεται από τον τύπο του συνδετήρα που θα χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή της κεραίας. Υπάρχει η δυνατότητα επιλογής συνδετήρα μεταξύ των: N-male, N-female, SMA-male, SMA-female, ή άλλου οπότε απαιτείται η εισαγωγή της d από το πληκτρολόγιο. Τέλος, δίνουμε την ακτίνα του σύρματος. Το ENTER μετά την εισαγωγή κάθε διάστασης στο αντίστοιχο Text Box είναι απαραίτητο για την ορθή καταχώρησή της αλλά και για τους ελέγχους που εκτελεί η εφαρμογή.

Στην τρίτη κατηγορία προσδιορίζεται η περιοχή συχνοτήτων σε [MHz]. Υπάρχει δυνατότητα επιλογής μιας μόνο συχνότητας ή ζώνης συχνοτήτων. Η σάρωση απαιτεί μία αρχική F_A συχνότητα, μία τελική F_B και το βήμα. Η ελάχιστη συχνότητα είναι 1MHz και η μέγιστη 6GHz. Τα δεδομένα αυτά εισάγονται ως φυσικοί αριθμοί. Ο περιορισμός για το βήμα είναι:

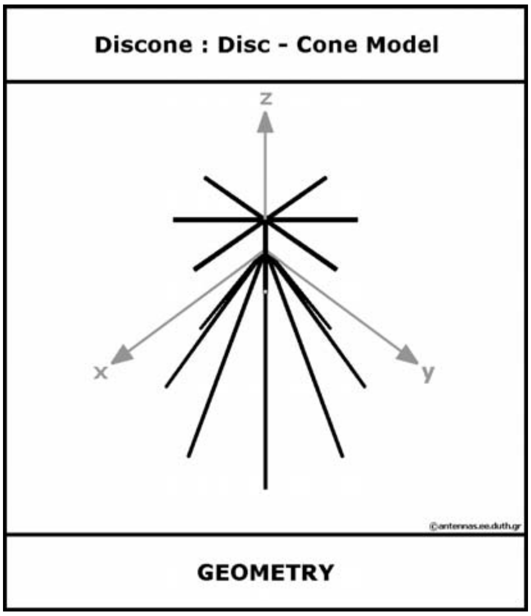
$$1 \leq \text{step} \leq F_B - F_A \qquad (4.3.1.1)$$

Στην κατηγορία αυτή ανήκει και ο προσδιορισμός της αγωγιμότητας του σύρματος σε [Mmhos/m] με το -1.0 να αντιστοιχεί σε τέλειο αγωγό, και η μέθοδος ολοκλήρωσης όπου το 0 αντιστοιχεί σε ακριβή ολοκλήρωση και φυσικός αριθμός σημαίνει αριθμητική ολοκλήρωση με 4, 8, 16, 32, ... τμήματα στο διάστημα ολοκλήρωσης.

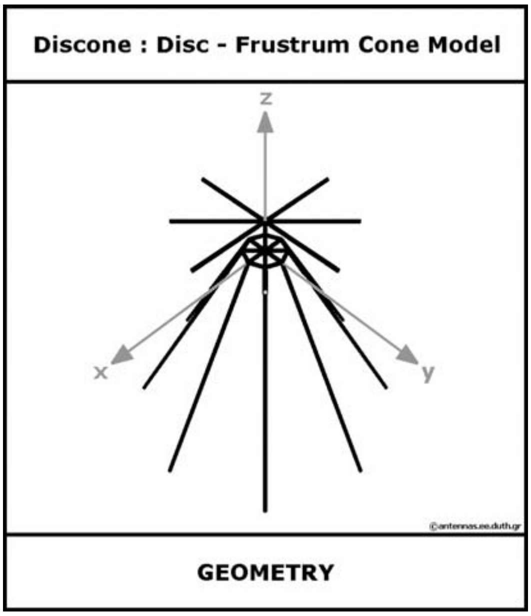
Στη συνέχεια προσδιορίζουμε το μοντέλο της προσομοίωσης της κεραίας. Δύο μοντέλα είναι διαθέσιμα. Το πρώτο αποτελείται από έναν δίσκο και έναν κώνο με διατήρηση της κωνικής γεωμετρίας στη θέση τροφοδοσίας όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.3.1.2 και αντιστοιχεί στο κουμπί (Command Button) Disc-Cone. Το δεύτερο μοντέλο αποτελείται από έναν δίσκο και έναν κόλουρο κώνο με μικρή βάση διαμέτρου d, Σχήμα 4.3.1.3, και αντιστοιχεί στο κουμπί Disc-Frustum Cone. Έτσι δημιουργείται το αρχείο της γεωμετρικής παράστασης της κεραίας και ανοίγει το πλαίσιο διαλόγου του Σχήματος 4.3.1.4 στο οποίο πρέπει να οριστεί ο κατάλογος στο σκληρό δίσκο όπου θα αποθηκευτούν όλα τα αρχεία που θα εξαχθούν από την προσομοίωση. Εάν θέλουμε να ελέγξουμε άμεσα τη γεωμετρία, διαλέγουμε το τετραγωνάκι (Check Box) Show Geometry, και επιπλέον και το Source εάν επιθυμούμε να δούμε και τη θέση της πηγής. Επιλέγοντας Cancel επιστρέφουμε στο παράθυρο Skeleton Discone Geometry. Με OK δημιουργείται ο κατάλογος, κλείνει το πλαίσιο αυτό, ενεργοποιείται το command button RICHWIRE, εμφανίζεται στο πάνω μέρος της οθόνης ο ενεργός κατάλογος (Working Directory) του σκληρού δίσκου και εάν ζητήσαμε τη γεωμετρία ανοίγει ο GL Viewer της Mathematica με την κεραία σε 3D απεικόνιση σε OpenGL και ταυτόχρονα παράγεται σε VRML το μοντέλο της κεραίας με την μικρή κόκκινη σφαίρα να παριστάνει την πηγή τροφοδοσίας.

Πατώντας το κουμπί RICHWIRE τρέχει η εφαρμογή στο υπόβαθρο και παράγονται τέσσερα αρχεία. Το OUT.TXT με γενικές πληροφορίες όπως, γεωμετρία, πίνακα αμοιβαίων αντιστάσεων, πλάτη διπολικών ρευμάτων. Το OUT2D.TXT με την αποτίμηση του διαγράμματος ακτινοβολίας στα τρία κύρια επίπεδα ανά 1° και το OUT3D.TXT με το διάγραμμα ακτινοβολίας στο χώρο ανά 5°. Το αρχείο TOTAL.TXT περιέχει τον συνολικό αριθμό των

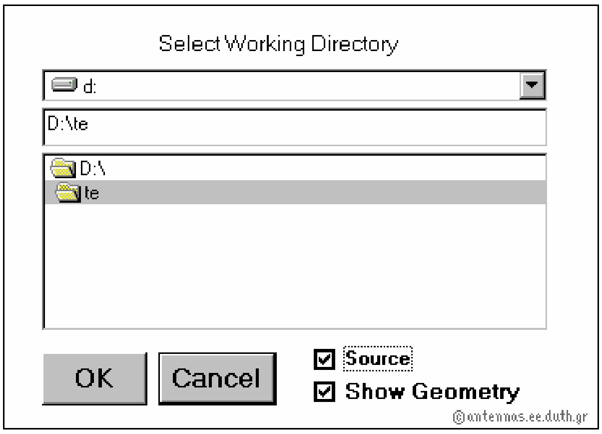
θεωρούμενων τμημάτων, τη συχνότητα λειτουργίας, την αντίσταση εισόδου σε καρτεσιανή και πολική μορφή, το VSWR για 50Ω, το VSWR για 75Ω, την κατευθυντικότητα ως καθαρό αριθμό, σε dBi και σε dBd.



Σχήμα 4.3.1.2: Το μοντέλο της Skeleton Discone με δίσκο και κώνο.



Σχήμα 4.3.1.3: Το μοντέλο της Skeleton Discone με δίσκο και κόλουρο κώνο.



Σχήμα 4.3.1.4: Επιλογή καταλόγου εργασίας στο σκληρό δίσκο.

Εάν επιλέξουμε σάρωση συχνότητας τότε στον κατάλογο εργασίας θα δημιουργηθεί υποκατάλογος για κάθε συχνότητα με αυτά τα αρχεία αλλά και ένα συνολικό αρχείο TOTAL.TXT που θα περιέχει τα στοιχεία που περιγράψαμε για όλες τις συχνότητες.

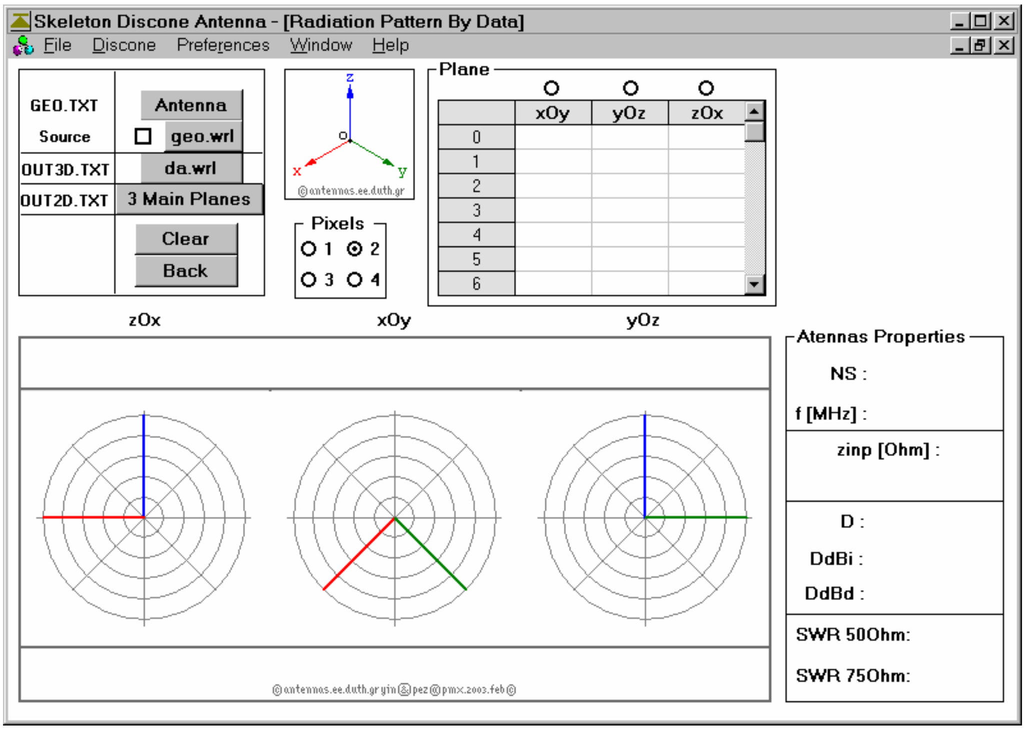
Τέλος το τετραγωνάκι 2nd-3rd Generation αφορά την προσομοίωση της κεραίας στις συχνότητες που καθορίζουν τα όρια των υποζωνών της κινητής τηλεφωνίας 2ης και 3ης γενεάς. Στο (Σχ. 4.3.1.1) φαίνονται οι αρχικές ρυθμίσεις του προγράμματος.

4.3.2: Το παράθυρο Show Graphics.

Το παράθυρο "Show Graphics" που φαίνεται στο Σχήμα 4.3.2.1 ανοίγει από το Menu: Discone-Show Graphics και μας δίνει τη δυνατότητα γραφικής απεικόνισης των διαγραμμάτων ακτινοβολίας και της γεωμετρίας του μοντέλου της κεραίας. Η μορφή του είναι αυτή που συναντάμε στο RADPAT4W ver.4.3.7 [92].

Με το κουμπί Antenna διαβάζουμε τη αρχείο που περιγράφει το μοντέλο της κεραίας GEO.TXT και ταυτόχρονα εμφανίζονται στο πλαίσιο Antenna Properties ο αριθμός των συνολικών θεωρούμενων τμημάτων NS, η συχνότητα f, η σύνθετη αντίσταση εισόδου zinp, η κατευθυντικότητα D ως καθαρός αριθμός και σε dBi (DdBi) και dBd (DdBd), ο λόγος στασίμων κυμάτων για χαρακτηριστική αντίσταση γραμμής 50Ω, SWR 50Ohm, αλλά και 75Ω, SWR 75Ohm. Με το geo.wrl παράγεται το αντίστοιχο VRML αντικείμενο του μοντέλου της κεραίας σε τριδιάστατη απεικόνιση και μέσω του GL Viewer μπορούμε να πάρουμε μια εικόνα jpg του μοντέλου αυτού. Με το da.wrl διαβάζουμε το αρχείο OUT3D.TXT για να πά-

ρουμε το διάγραμμα ακτινοβολίας στο χώρο και με το 3 Main Planes στα τρία κύρια επίπεδα. Μας δίνεται η δυνατότητα να επιλέξουμε τον αριθμό των pixels για τις καμπύλες. Πατώντας με το αριστερό πλήκτρο του ποντικιού πάνω σε ένα διάγραμμα ακτινοβολίας παίρνουμε μια μεγένθυσή του μέχρι 5 βήματα (zoom).



Σχήμα 4.3.2.1: Το παράθυρο Show Graphics.

Καθένα από τα παραπάνω κουμπιά μόλις ολοκληρώσει τη λειτουργία του καθίσταται ανενεργό και φέρει την ετικέτα Ready. Με το Clear σβήνονται τα δεδομένα από τη μνήμη και ενεργοποιούνται όλα τα κουμπιά για την εισαγωγή νέων στοιχείων. Με το Back κλείνει το παράθυρο αυτό και επιστρέφουμε στο βασικό παράθυρο της εφαρμογής. Τέλος, στο πλαίσιο Plane μπορούμε να δούμε την αποτίμηση του διαγράμματος ακτινοβολίας στα τρία κύρια επίπεδα ως αριθμητικές τιμές.

4.3.3: Άλλα στοιχεία του προγράμματος.

Στο Menu: Help-About της εφαρμογής εμφανίζεται το παράθυρο με γενικές πληροφορίες για το πρόγραμμα. Από το Menu: File-Print μπορούμε να εκτυπώσουμε το παράθυρο

Skeleton Discone Geometry ή το Show Graphics. Από το Menu: Preferences-ShowToolTips μπορούμε να ενεργοποιήσουμε ή όχι τις σύντομες βοήθειες που εμφανίζονται όταν περνάμε με το ποντίκι πάνω από τα αντικείμενα του προγράμματος, ενώ από το Preferences-Graphics Color μπορούμε να αλλάξουμε τα χρώματα απεικόνισης των διαγραμμάτων ακτινοβολίας.

4.4: Δοκιμαστική χρήση της εφαρμογής.

Μετά τη σύνταξη του προγράμματος Skeleton Discone η αναζήτηση της κεραίας εκείνης που θα ικανοποιούσε τους στόχους μας, δηλαδή να εμφανίζει χαμηλό VSWR (≤ 2) σε όλη τη ζώνη και σταθερό παγκατευθυντικό διάγραμμα ακτινοβολίας, ήταν μια επαναληπτική διαδικασία. Στον Πίνακα 4.4.1 παραθέτουμε μια καταγραφή των αποτελεσμάτων των πρώτων δοκιμών χρησιμοποιώντας τις δύο τυποποιήσεις και την προσομοίωση με το πρώτο μοντέλο Disc-Cone για συνδετήρα τύπου N-αρσενικό (N-m) ή N-θηλυκό (N-f). Στον πίνακα αυτό τα μοντέλα 9 και 13-16 προέκυψαν με τυποποίηση Nail για τα 660MHz και 600MHz αντίστοιχα, ενώ τα 6 ,7 με τυποποίηση Rappaport για τα 800MHz. Στον Πίνακα 4.4.2 παρατίθενται επιπλέον δοκιμές με αλλαγή του αριθμού των τμημάτων ανά ακτίνα αλλά με τον ίδιο αριθμό για την ακτίνα του δίσκου και του κώνου.

Σε όλες τις παραπάνω δοκιμές θεωρήσαμε οκτώ ακτίνες για τον δίσκο και οκτώ ακτίνες για τον κώνο, μια διάταξη που προτείνεται από τον D.W.Cooke [39] για Skeleton Discone κεραίες αλλά που είναι και γενικώς αποδεκτή στη βιβλιογραφία. Επίσης κοινό χαρακτηριστικό είναι η ακτίνα του σύρματος 1mm αλλά και η γωνία του κώνου 60°. Επιπλέον για τις δοκιμές του Πίνακα 4.4.2 χρησιμοποιήθηκε ολοκλήρωση με οκτώ τμήματα και συνδετήρας τύπου N-Male. Τέλος, NS (Number of Segments) είναι ο αριθμός των τμημάτων ανά ακτίνα για τον δίσκο και για τον κώνο, το INT (Integration) δηλώνει τη μέθοδο ολοκλήρωσης, στη στήλη VSWR ≤ 2 παρατίθεται η περιοχή συχνοτήτων στην οποία πληρείται η συνθήκη αυτή και το STA (Standard) αντιστοιχεί στην τυποποίηση που χρησιμοποιήθηκε.

Μετά από αυτές τις δοκιμές διαπιστώσαμε ότι η χρήση είτε της τυποποίησης του Nail είτε αυτής του Rappaport όπως περιγράφονται από τις σχέσεις (4.3.1) και (4.3.2) αντίστοιχα, δεν έδινε το επιθυμητό αποτέλεσμα για την Skeleton Discone. Στη βιβλιογραφία όμως συναντήσαμε τον όρο χαμηλότερη συχνότητα λειτουργίας και τη σχέση της με τη συχνότητα για την οποία το L είναι λ/4(συχνότητα αποκοπής), για την πρώτη τυποποίηση σε συμφωνία με την [45] (παρ. 2.4)

$$f_{min} = 1.14 \cdot f_c \quad \text{για} \quad \alpha = 60^\circ \qquad (4.4.1)$$

Δηλαδή, εάν επιθυμούμε VSWR ≤ 2 για συχνότητα $f_{min} = 800\,\text{MHz}$ τότε θα πρέπει η f_c να είναι

$$f_c = \frac{f_{min}}{1.14} = \frac{800}{1.14} = 701.8\,\text{MHz} \cong 700\,\text{MHz} \qquad (4.4.2)$$

Πίνακας 4.4.1: Οι πρώτες δοκιμές με το μοντέλο Disc-Cone.

	f [MHz]	D [cm]	s [cm]	L [cm]	NS	INT	VSWR ≤ 2	STA
1.	800-1000	6.56	0.57	9.38	2	4	(930, 1000]	(4.3.1)
2.	800-1000	6.56	0.21	9.38	2	4	[990, 1000]	Other
3.	800-900	6.56	1.00	9.38	8	0	[820, 900]	Other
4.	800-900	6.60	1.00	9.40	8	0	(820, 900]	Other
5.	800-1000	8.09	0.95	10.78	2	4	[800, 940)	(4.3.2)
6.	600-1200	8.09	0.95	10.78	3	4	[740, 940]	Other
7.	600-1200	8.09	0.95	10.78	10	4	[720, 820]	Other
8.	800-1000	9.38	0.21	9.38	2	4	1000	Other
9.	600-1200	7.95	0.40	11.36	3	0	[780, 1200]	Other
10.	660-1200	7.95	0.21	11.36	3	0	[820, 1200]	Other
11.	660-1200	7.95	0.57	11.36	3	0	[760, 1200]	(4.3.1)
12.	600-1200	10.78	0.95	14.38	3	4	[600, 760] [1180, 1200]	(4.3.2)
13.	800-1200	8.75	0.57	12.50	3	4	[800, 1200]	Other
14.	600-1200	8.75	0.21	12.50	3	0	[740, 1200]	Other
15.	600-1200	8.75	0.57	12.50	3	8	[700, 1200]	Other

16.	600-1200	8.75	0.57	12.50	3	0	[700, 1200]	Other
17.	600-2500	8.75	0.57	12.50	8	0	(700, 880) (1490, 1720)	Other
18.	720-1200	7.29	0.57	10.42	3	0	[820, 1200]	(4.3.1)
19.	780-900	5.80	1.00	8.30	8	0	-	Other
20.	400-2500	26.00	1.50	15.00	8	0	[1116, 1416] [1526, 1596]	Other
21.	400-1300	26.00	0.80	15.00	8	0	[400, 1260]	Other

Πίνακας 4.4.2: Δοκιμές με αλλαγή του αριθμού των τμημάτων ανά ακτίνα.

	f [MHz]	D [cm]	s [cm]	L [cm]	NS	STA
1.	829	8.75	0.21	12.50	1, 2, 4, 8, 16, 20	(4.3.1)
2.	800	6.56	0.57	9.38	1-16	(4.3.1)
3.	800	8.09	0.95	10.78	2-19	(4.3.2)
4.	800	8.09	0.50	10.78	2-19	Other
5.	800	8.09	1.50	10.78	2-19	Other
6.	800	9.24	0.95	12.32	2-64, 100, 150, 154, 160, 175	Other
7.	700	9.24	0.95	12.32	2, 100, 150	(4.3.2)
8.	900	9.24	0.95	12.32	2, 10, 150	Other
9.	300	9.24	0.95	12.32	2, 50	Other

Υιοθετώντας αυτό το στοιχείο, δοκιμάζουμε νέες διαστάσεις, με κοινά χαρακτηριστικά τη μέθοδο ολοκλήρωσης (0), την ακτίνα του σύρματος (1mm), τον αριθμό των ακτίνων (8 για τον δίσκο και 8 για τον κώνο), τον αριθμό των τμημάτων ανά ακτίνα (8) που

αντιστοιχεί σε μήκος τμήματος ≤λ/32 στη συχνότητα αποκοπής, τη γωνία του κώνου (60°), τον συνδετήρα (N-θηλυκό), οι οποίες φαίνονται στον Πίνακα 4.4.3.

Πίνακας 4.4.3: Νέες δοκιμές με το κριτήριο της f_{min} .

	f [MHz]	D [cm]	s [cm]	L [cm]	VSWR ≤ 2
1.	750-2200	7.5	1.0	10.7	[750, 960)
2.	780-900, 2000-2200	7.4	0.5	10.6	(800, 900], (2000, 2190)
3.	2000-2200	7.6	0.5	10.9	[2000, 2140)
4.	600-2500	7.5	0.5	10.7	(800, 2170)

Παρατηρούμε ότι το μοντέλο 4 το οποίο προκύπτει ουσιαστικά με τυποποίηση Nail για την συχνότητα των 700MHz ικανοποιεί το κριτήριο του VSWR αφήνοντας μόνο την περιοχή του WLAN, οπότε αποφασίζουμε να ασχοληθούμε με αυτό κατασκευάζοντάς το. Η μέτρηση όμως του μοντέλου αυτού, όπως θα δούμε παρακάτω μας οδήγησε σε αλλαγή της μοντελοποίησης της κεραίας.

4.5: Νέο υπολογιστικό μοντέλο. Έλεγχος σύγκλισης.

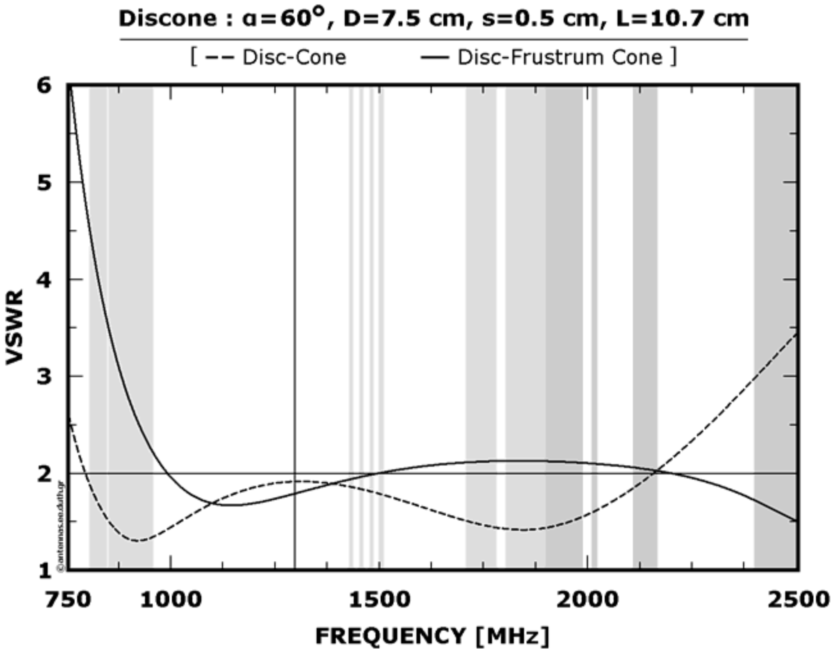
Η απαίτηση καλύτερης συμφωνίας των αποτελεσμάτων από υπολογισμούς και μετρήσεις αλλά και η καλύτερη προσέγγιση της κατασκευής, μας οδήγησαν στο δεύτερο μοντέλο, “Disc-Frustum Cone”. Σε αυτό ο αρχικός κώνος έχει αντικατασταθεί με έναν κόλουρο κώνο όπως φαίνεται στο (Σχ. 4.3.1.3). Η προσομοίωση της Skeleton Discone στην οποία καταλήξαμε στην προηγούμενη παράγραφο, μοντέλο 4 του Πίνακα 4.4.3, μας δίνει τώρα

$$\text{VSWR} \le 2 \quad \text{για} \quad 996 \le f \le 1496,\ 2206 \le f \qquad (4.5.1)$$

με μέγιστη τιμή 2.128 σε όλη την ζώνη από 996-2500MHz. Δηλαδή, με το αυστηρό κριτήριο της (4.5.1) χάνουμε την περιοχή συχνοτήτων 806-960MHz της δεύτερης γενεάς κινητής τη-

λεφωνίας όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.5.1. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με τις δυνατότητες μετρήσεων της διάταξης που είχαμε στη διάθεσή μας, μας οδηγεί σε αναζήτηση νέας κεραίας.

Στο (Σχ. 4.5.1) το ανοικτό γκρι χρώμα αντιστοιχεί στην δεύτερη γενεά και το σκούρο γκρι στην καθαρά τρίτη γενεά κινητής τηλεφωνίας. Επίσης διακρίνουμε την οριζόντια γραμμή που αντιστοιχεί στην τιμή 2 του VWSR, το όριο που θέσαμε για το λόγο στασίμων κυμάτων, αλλά και μία κατακόρυφη γραμμή που αντιστοιχεί στα 1300MHz, ένα όριο που τίθεται από την διαθέσιμη διάταξη μετρήσεων.

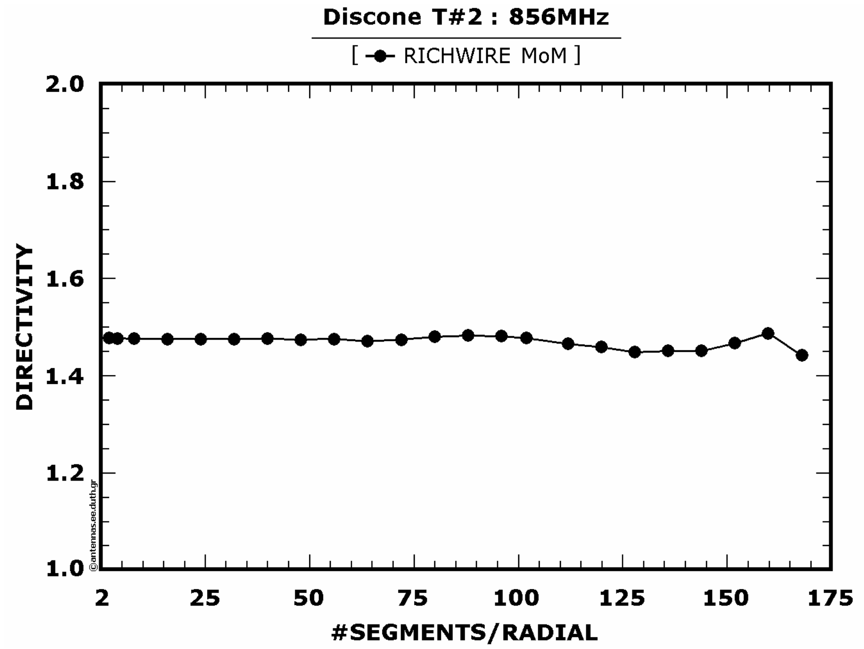


Σχήμα 4.5.1: Ο Λόγος Στασίμων Κυμάτων για τις δύο μοντελοποιήσεις της κεραίας.

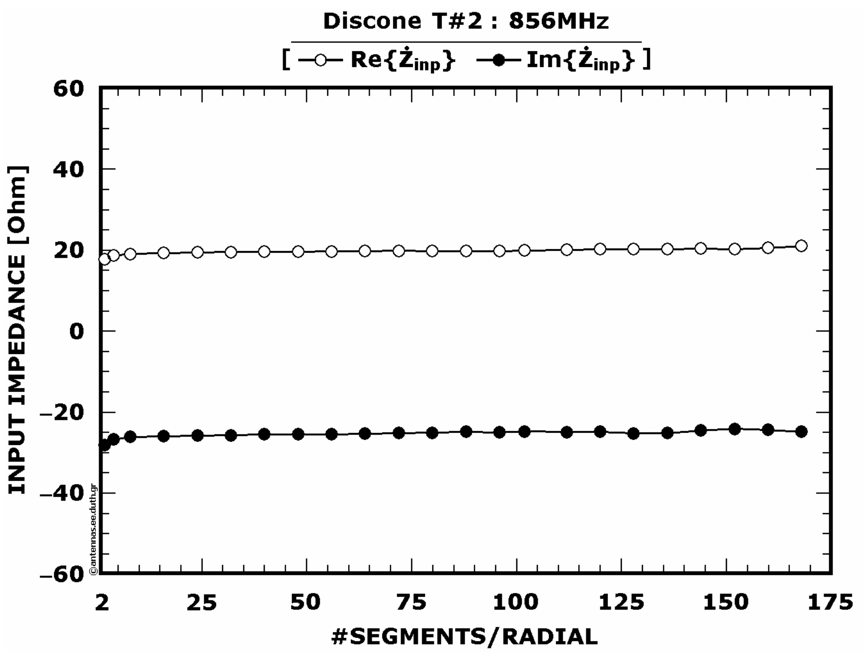
Πριν προχωρήσουμε όμως, κρίναμε σκόπιμο να ελέγξουμε σε αυτό το σημείο τη σύγκλιση του προγράμματος προσομοίωσης. Επιλέξαμε τη συχνότητα 856MHz και μεταβάλλαμε τον αριθμό των τμημάτων ανά ακτίνα , υιοθετώντας ίσα τμήματα στο δίσκο και στον κώνο. Στο Σχήμα 4.5.2 φαίνεται η κατευθυντικότητα συναρτήσει του θεωρούμενου αριθμού τμημάτων ανά ακτίνα και στο Σχήμα 4.5.3 η αντίσταση εισόδου. Ο συνολικός αριθμός των τμημάτων για τη μοντελοποίηση της κεραίας ήταν: 49, 81, 145, 273, 401, 529, 657, 785, 913, 1041, 1169, 1297, 1425, 1553, 1681, 1809, 1937, 2065, 2193, 2321, 2449, 2577, 2705, με ότι αυτό συνεπάγεται σε πολύτιμο υπολογιστικό χρόνο δεδομένου ότι επιθυμούμε και σάρωση με τη συχνότητα.

Από τα σχήματα προκύπτει ότι τα οκτώ τμήματα ανά ακτίνα, 145 συνολικά, είναι αρκετά για να έχουμε σύγκλιση αποτελεσμάτων τόσο για την κατευθυντικότητα όσο και για την αντίσταση εισόδου της κεραίας. Τέλος, στο Σχήμα 3.5.4 φαίνεται το διάγραμμα ακτινοβολίας

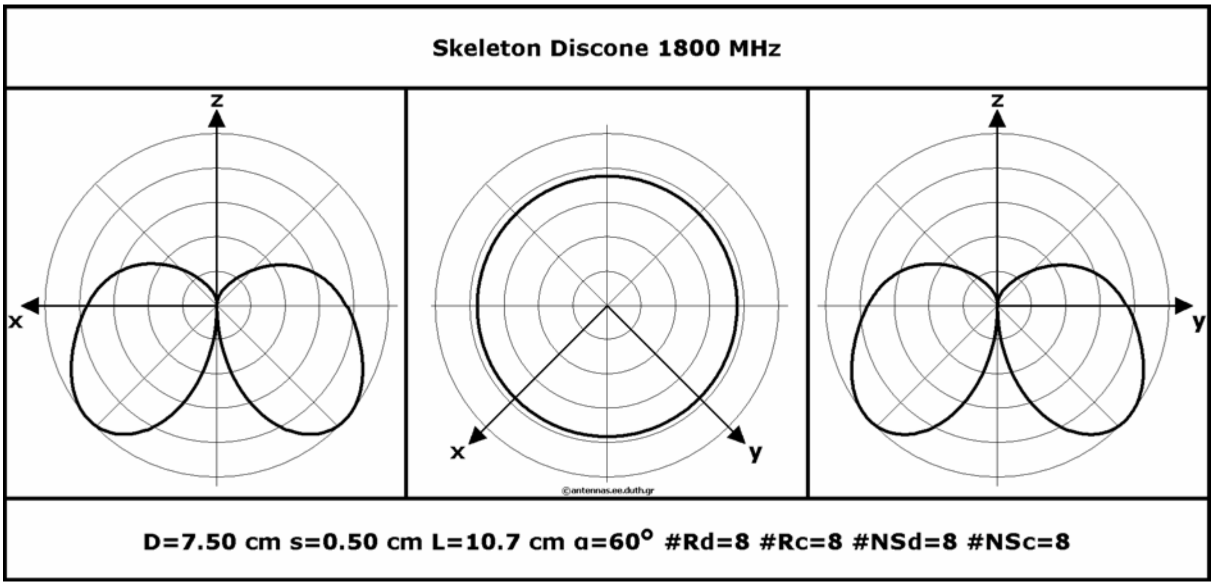
του μοντέλου αυτού στα τρία κύρια επίπεδα για τη συχνότητα των 1800MHz όπως προκύπτει από την εφαρμογή Skeleton Discone.



Σχήμα 4.5.2: Κατευθυντικότητα συναρτήσει του αριθμού των τμημάτων ανά ακτίνα.



Σχήμα 4.5.3: Η αντίσταση εισόδου συναρτήσει των τμημάτων ανά ακτίνα.



Σχήμα 4.5.4: Διαγράμματα ακτινοβολίας από το πρόγραμμα Skeleton Discone.

4.6: Τελικός Σχεδιασμός.

Ανατρέχοντας πάλι στη βιβλιογραφία, συναντάμε την παρατήρηση του Cooke [39] (παρ. 2.3) ότι το απόστημα L του κώνου στην Skeleton Discone κεραία πρέπει να αντιστοιχεί σε μήκος λ/3 και όχι λ/4 στη συχνότητα αποκοπής f_c. Η παρατήρηση αυτή σε συνδυασμό με εκείνη της παραγράφου 2.4 δίνει για το μοντέλο 4 του Πίνακα 4.4.3,

$$L = 10.7 = \frac{1}{3}\cdot\lambda \Rightarrow \lambda = 32.1 \text{ cm} \Rightarrow f_{min} = \frac{300}{0.321} \cong 935 \text{ MHz} \qquad (4.6.1)$$

και

$$f_c = \frac{f_{min}}{1.14} = \frac{935}{1.14} \cong 820 \text{ MHz} \qquad (4.6.2)$$

που είναι περίπου αληθές αφού όπως είπαμε η κεραία αυτή δεν ικανοποιεί τη συνθήκη το VSWR να είναι μικρότερο ή ίσο του 2 για την ζώνη 806-960MHz.

Με βάση αυτές τις παρατηρήσεις και επειδή η χαμηλότερη συχνότητα που μας ενδιαφέρει είναι τα 800MHz παίρνουμε

$$f_{min} = 800 \Rightarrow \lambda = \frac{300}{800} = 0.375 \Rightarrow \frac{1}{3}\cdot\lambda = 0.125 \Rightarrow L = 12.5\ \text{cm} \qquad (4.6.3)$$

το οποίο αντιστοιχεί σε μήκος λ/4 για τη συχνότητα των 600MHz, δηλαδή 25% χαμηλότερη συχνότητα ενώ στην παράγραφο 2.4 [88] αναφέρεται ένα ποσοστό 20%. Για αυτό το απόστημα κώνου υπολογίζουμε για γωνία κώνου 60° και χρησιμοποιώντας την (4.3.1):

$$D = 0.7\cdot 12.5 = 8.75\ \text{cm} \qquad (4.6.4)$$

Οι διαστάσεις αυτές μας θυμίζουν τα μοντέλα 13-16 του Πίνακα 4.4.1 και 1 του Πίνακα 4.4.2 τα οποία είχαν επιδείξει καλή συμπεριφορά ως προς το VSWR.

Πριν προχωρήσουμε σε νέες αναζητήσεις παρατηρούμε ότι από την (4.6.4) προκύπτει ακτίνα δίσκου ίση με 4.375cm. Τα εργαλεία όμως που θα χρησιμοποιήσουμε για τις κατασκευές μας, περιορίζουν την ακρίβεια των πραγματικών διαστάσεων. Έτσι, το παχύμετρο που διαθέτουμε έχει ακρίβεια δεκάκις χιλιοστού, ενώ το κοφτάκι με το οποίο θα κόψουμε τα σύρματα μπορούμε ελαστικά να δεχτούμε ότι έχει μια ακρίβεια 0.5 χιλιοστών. Αυτό σημαίνει ότι και οι διαστάσεις που θα προσδιορίσουμε για τα υπολογιστικά μοντέλα θα πρέπει να έχουν την αντίστοιχη ακρίβεια. Άρα επιλέγουμε διάμετρο κώνου 8.8cm αντί του 8.75cm της (4.6.4) το οποίο οδηγεί σε ακτίνες δίσκου 4.4cm ή εάν χρησιμοποιήσουμε την (4.3.2)

$$D = 0.75\cdot 12.5 = 9.375 \Rightarrow D = 9.4\ \text{cm} \qquad (4.6.5)$$

Επειδή τώρα, δεν θέλουμε να περιοριστούμε σε γωνία κώνου 60° θα επιχειρήσουμε μια αναζήτηση και για άλλες γωνίες και οπωσδήποτε για γωνίες μεγαλύτερες των 90° για τις οποίες δεν υπάρχουν δεδομένα στη βιβλιογραφία. Συστηματοποιώντας την εργασία μας αποφασίζουμε να δοκιμάσουμε μοντέλα Skeleton Discone με απόστημα κώνου L ίσο με 12.5cm, μεταβλητή διάμετρο δίσκου D με διαστάσεις που θα προκύπτουν ως

$$D = 0.70\cdot C, \quad D = 0.75\cdot C \qquad (4.6.6)$$

μεταβλητή απόσταση s μεταξύ δίσκου και κώνου, με τιμές 0.3cm, 0.6cm και 0.8cm και μεταβλητή γωνία κώνου με τιμές 30°, 60°, 90°, 120°, και 150°. Η πρώτη τιμή του s, 0.3cm, προκύπτει ως το κάτω όριο από το πρόγραμμα προσομοίωσης RICHWIRE, η τιμή 0.6cm προσεγγίζει το 0.5cm που προκύπτει από την (4.3.1) ως

$$s = 0.3 \cdot d = 0.3 \cdot 1.6 = 0.48 \text{ cm} \qquad (4.6.7)$$

ενώ η τιμή 0.8cm προκύπτει από την (4.3.2) ως

$$s = 0.5 \cdot d = 0.5 \cdot 1.6 = 0.8 \text{ cm} \qquad (4.6.8)$$

για συνδετήρα τύπου N-θηλυκό. Τέλος, οκτώ ακτίνες θα προσομοιώνουν των δίσκο και οκτώ των κώνο, με οκτώ τμήματα ανά ακτίνα δηλαδή 145 συνολικά και θα σαρωθεί η περιοχή συχνοτήτων 600-2500MHz. Βασικές παράμετροι για το σχεδιασμό θεωρούνται το VSWR και η σχετική ένταση ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο όπου επιθυμούμε το παγκατευθυντικό διάγραμμα ακτινοβολίας.

Στον Πίνακα 4.6.1 δίνονται οι διαστάσεις των υπολογιστικών μοντέλων καθώς και ο χωρισμός τους σε ομάδες. Για κάθε γωνία κώνου α και για κάθε διάμετρο δίσκου D προκύπτουν τρία μοντέλα με διαφορετική απόσταση δίσκου-κώνου s, δηλαδή συνολικά έχουμε 5 x 2 x 3 = 30 κεραίες Skeleton Discone με σύρμα ακτίνας 1mm και αγωγιμότητα χαλκού 60 Mmhos/m.

Στα Σχήματα 4.6.1-4.6.20 παραθέτουμε το VSWR και τη σχετική ένταση ακτινοβολίας συναρτήσει της συχνότητας για κάθε ομάδα τριών μοντέλων. Ο υπολογισμός του λόγου στασίμων κυμάτων έγινε ως προς τη χαρακτηριστική αντίσταση γραμμής μεταφοράς 50Ω ως η πιο τυπική και ευρέως χρησιμοποιούμενη γραμμή μεταφοράς. Η σχετική ένταση ακτινοβολίας δίνεται στα σχήματα αυτά σε [dB], με διάστημα τιμών $[-3, 0]$, θέτοντας έτσι ως όριο αποδεκτής μεταβολής το ήμισυ της μέγιστης τιμής συνολικά.

Με βάση τα σχήματα αυτά επιλέγουμε να κατασκευάσουμε τα μοντέλα των ομάδων A, B και C, δηλαδή για γωνίες κώνου 120°, 90° και 60°. Τα μοντέλα για γωνίες κώνου 30° και 150° εμφανίζουν χαμηλό λόγο στασίμων κυμάτων στις υψηλές συχνότητες αλλά στην περιοχή της GSM 806-960MHz καθώς και σε όλη τη ζώνη μέχρι τα 1300MHz, όπου και θα πραγματοποιηθούν οι μετρήσεις, το VSWR παίρνει πολύ μεγάλες τιμές γεγονός που συνεπάγεται μεγάλη αποπροσαρμογή από τα 50Ω. Επίσης για τα μοντέλα αυτά η ένταση ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο μεταβάλλεται εξαιρετικά απότομα και δεν μπορεί να τους δοθεί ο χαρακτηρισμός του παγκατευθυντικού διαγράμματος ακτινοβολίας.

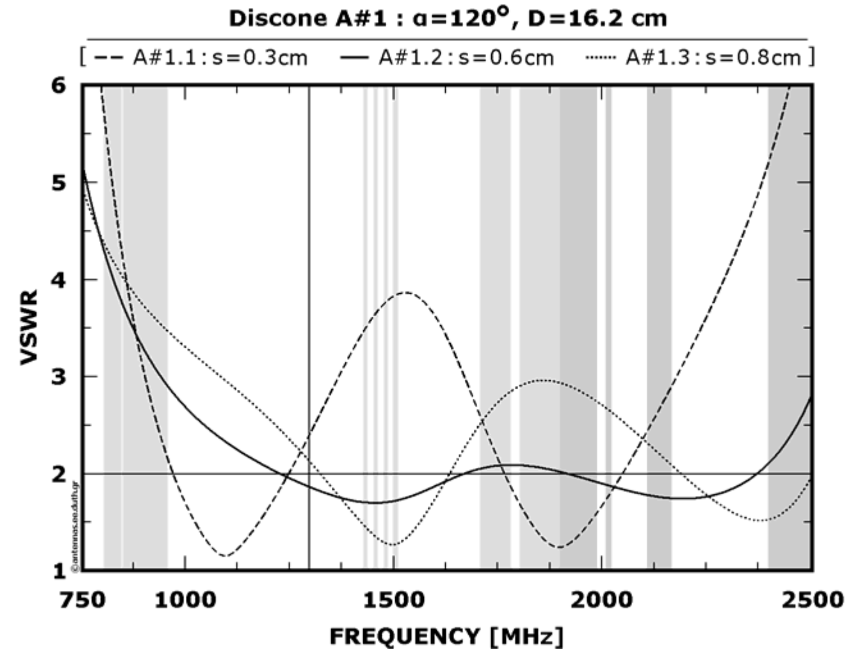
Είναι φανερό ότι τα μοντέλα της προσομοίωσης με γωνία κώνου 60° (Σχ.4.6.9-Σχ.4.6.12) και μάλιστα αυτά για τα οποία η απόσταση δίσκου-κώνου, s, ισούται με 0.6cm, εμφανίζουν λόγο στασίμων κυμάτων ή μικρότερο ή ίσο του 2 σχεδόν σε όλη την περιοχή συχνοτήτων 806-2500MHz και σχετική ένταση ακτινοβολίας όχι μικρότερη των -3dB στην

ίδια περιοχή. Αναμένουμε λοιπόν, η κατασκευή και η μέτρηση αυτών των μοντέλων να επιβεβαιώσει αυτά τα χαρακτηριστικά και να αναδείξει το πλέον κατάλληλο μοντέλο.

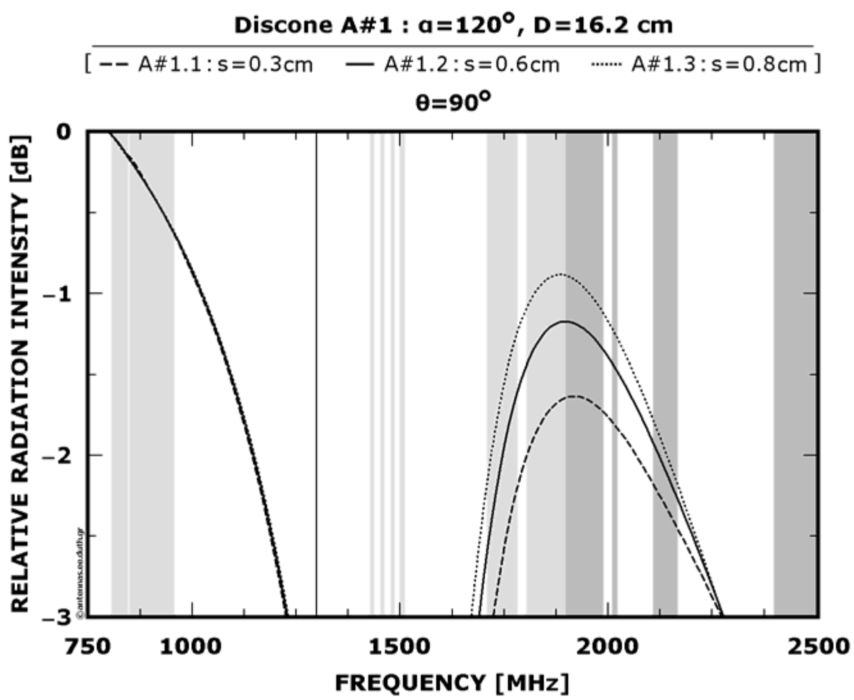
Τέλος, τα διαγράμματα ακτινοβολίας στο χώρο τα οποία προκύπτουν από την προσομοίωση των μοντέλων αυτών θα τα παραθέσουμε στο Κεφάλαιο 5, μαζί με τα αποτελέσματα των μετρήσεων, έτσι ώστε όλα τα στοιχεία κάθε κεραίας, όσον αφορά την αντίσταση εισόδου και το διάγραμμα ακτινοβολίας, να είναι συγκεντρωμένα.

Πίνακας 4.6.1: Διαστάσεις υπολογιστικών μοντέλα Skeleton Discone.

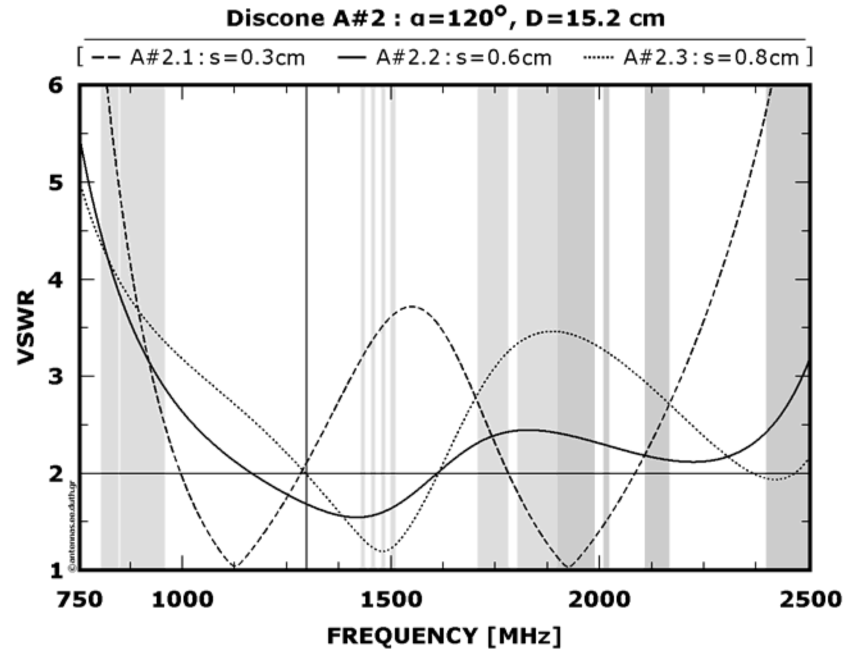
	D [cm]	s [cm]	L [cm]	α [°]		D [cm]	s [cm]	L [cm]	α [°]
A#1.1	16.2	0.3	12.5	120°	C#2.1	8.8	0.3	12.5	60°
A#1.2	16.2	0.6	12.5	120°	C#2.2	8.8	0.6	12.5	60°
A#1.3	16.2	0.8	12.5	120°	C#2.3	8.8	0.8	12.5	60°
A#2.1	15.2	0.3	12.5	120°	D#1.1	4.8	0.3	12.5	30°
A#2.2	15.2	0.6	12.5	120°	D#1.2	4.8	0.6	12.5	30°
A#2.3	15.2	0.8	12.5	120°	D#1.3	4.8	0.8	12.5	30°
B#1.1	13.2	0.3	12.5	90°	D#2.1	4.6	0.3	12.5	30°
B#1.2	13.2	0.6	12.5	90°	D#2.2	4.6	0.6	12.5	30°
B#1.3	13.2	0.8	12.5	90°	D#2.3	4.6	0.8	12.5	30°
B#2.1	12.4	0.3	12.5	90°	E#1.1	18.0	0.3	12.5	150°
B#2.2	12.4	0.6	12.5	90°	E#1.2	18.0	0.6	12.5	150°
B#2.3	12.4	0.8	12.5	90°	E#1.3	18.0	0.8	12.5	150°
C#1.1	9.4	0.3	12.5	60°	E#2.1	17.0	0.3	12.5	150°
C#1.2	9.4	0.6	12.5	60°	E#2.2	17.0	0.6	12.5	150°
C#1.3	9.4	0.8	12.5	60°	E#2.3	17.0	0.8	12.5	150°



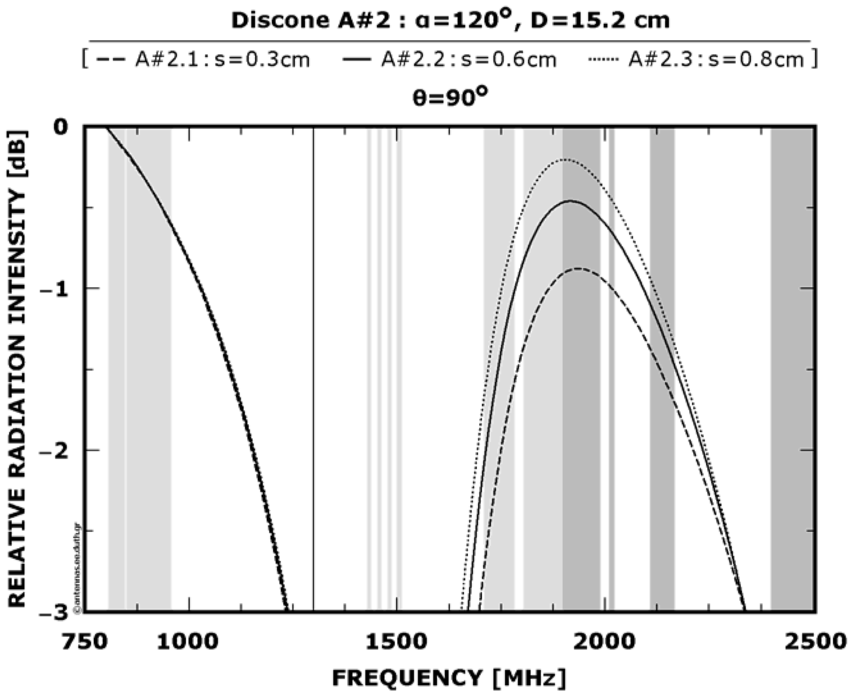
Σχήμα 4.6.1: Ο Λόγος Στασίμων Κυμάτων της ομάδας κεραιών A#1.



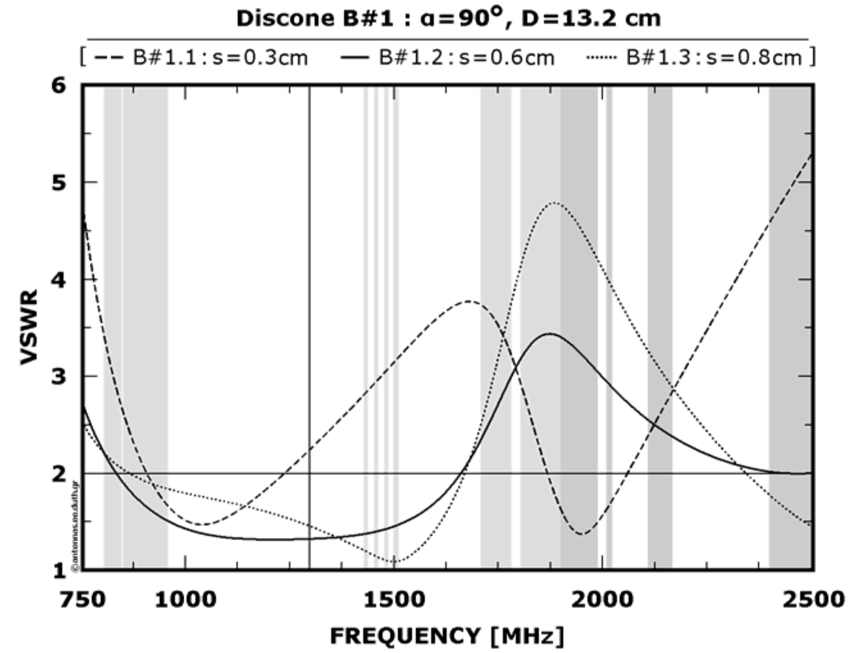
Σχήμα 4.6.2: Ένταση Ακτινοβολίας στο Οριζόντιο επίπεδο της ομάδας κεραιών A#1.



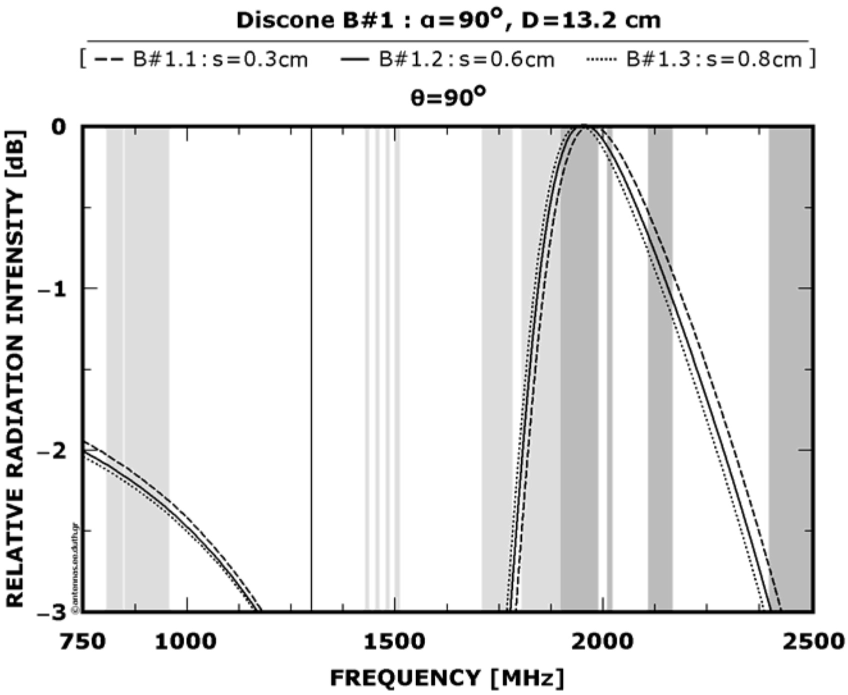
<u>Σχήμα 4.6.3</u>: Ο Λόγος Στασίμων Κυμάτων της ομάδας κεραιών Α#2.



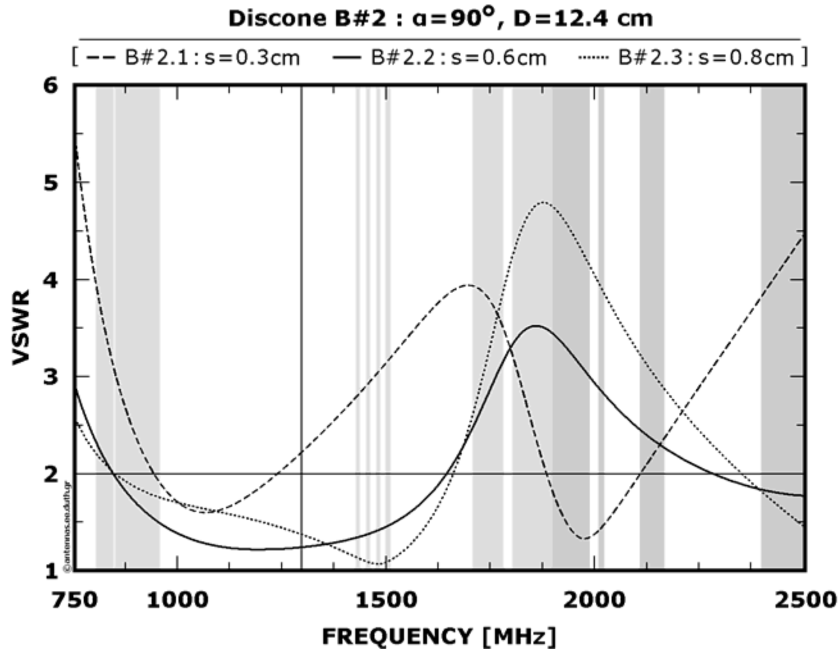
<u>Σχήμα 4.6.4</u>: Ένταση Ακτινοβολίας στο Οριζόντιο Επίπεδο της ομάδας κεραιών Α#2.



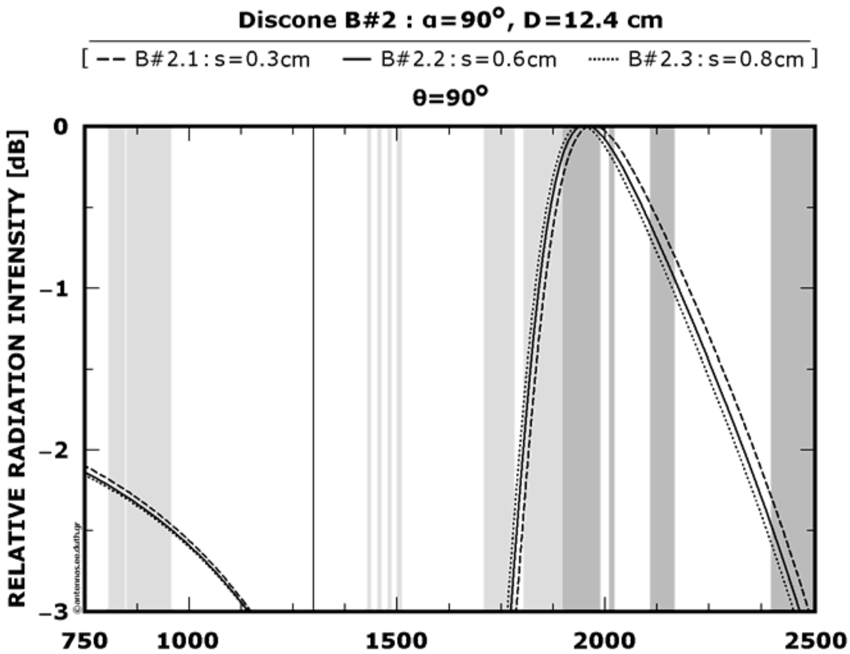
Σχήμα 4.6.5: Ο Λόγος Στασίμων Κυμάτων της ομάδας κεραιών Β#1.



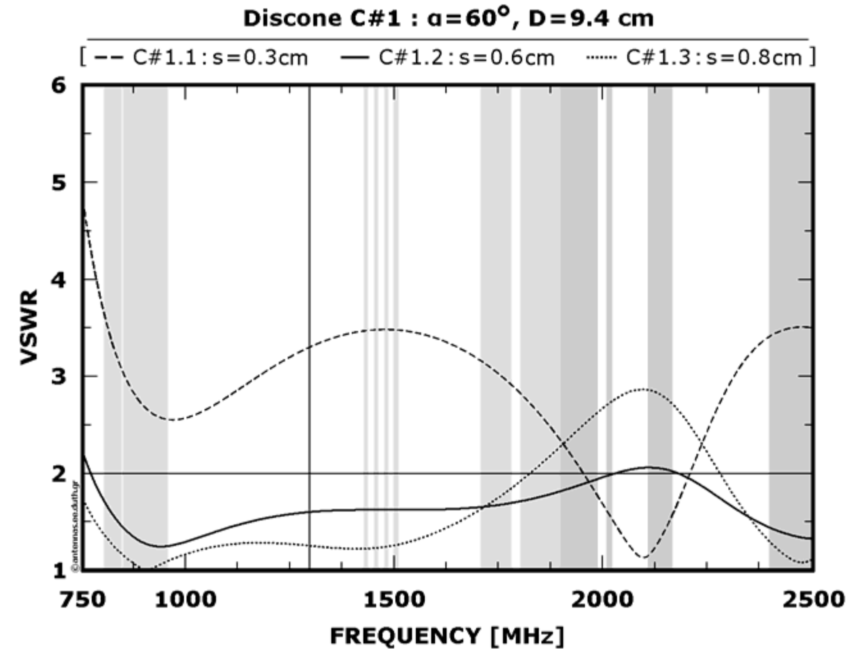
Σχήμα 4.6.6: Ένταση Ακτινοβολίας στο Οριζόντιο Επίπεδο της ομάδας κεραιών Β#1.



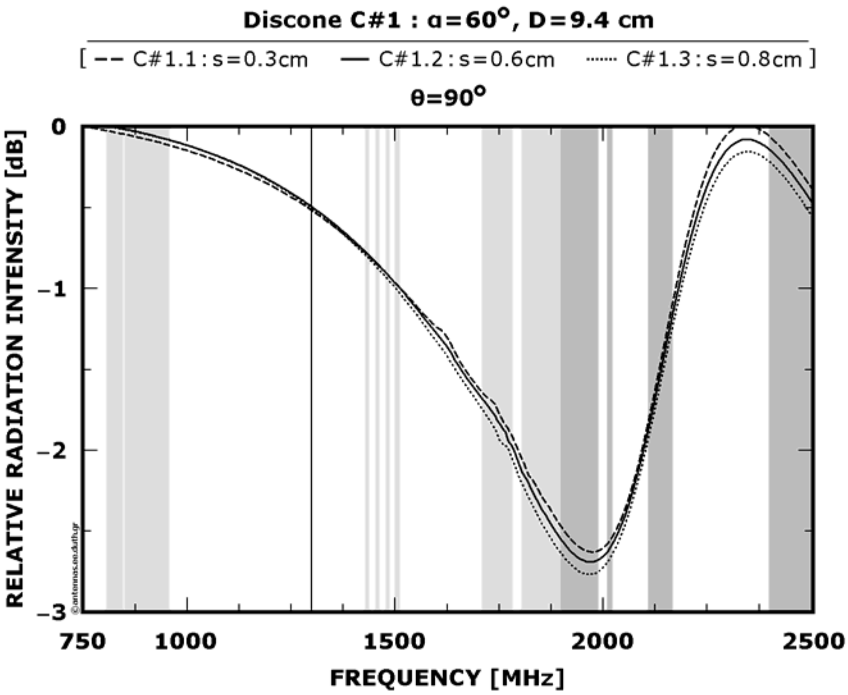
Σχήμα 4.6.7: Ο Λόγος Στασίμων Κυμάτων της ομάδας κεραιών B#2.



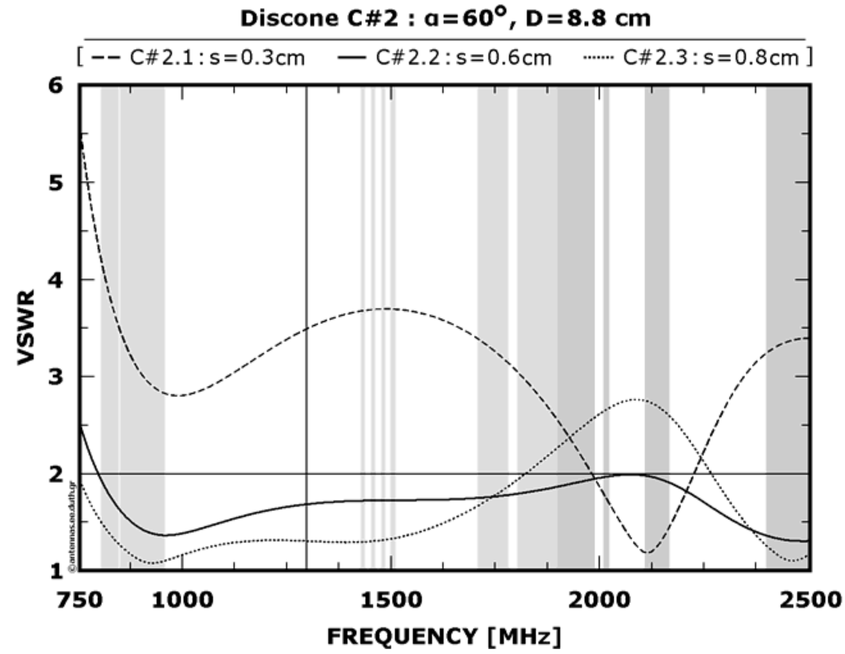
Σχήμα 4.6.8: Ένταση Ακτινοβολίας στο Οριζόντιο Επίπεδο της ομάδας κεραιών B#2.



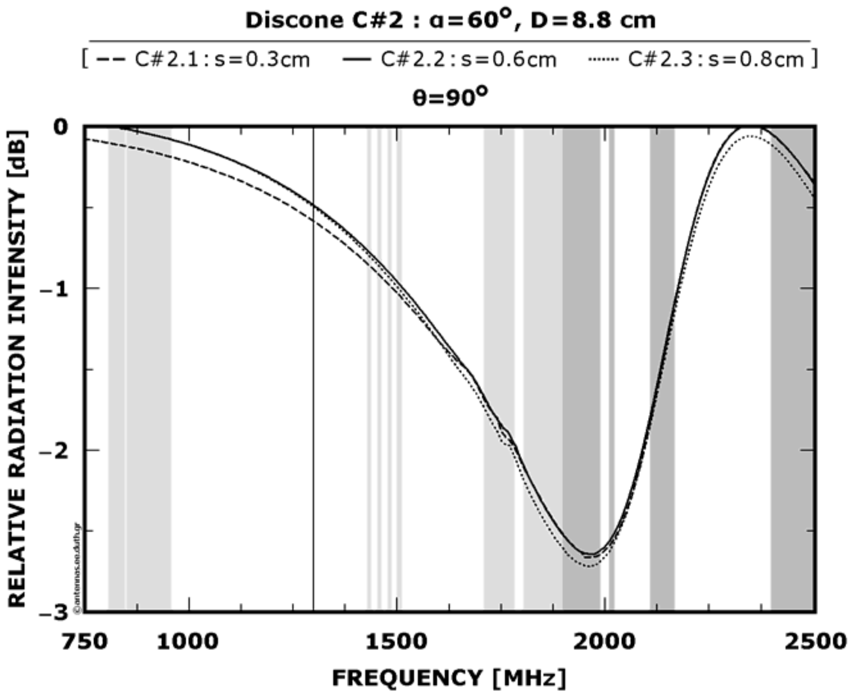
Σχήμα 4.6.9: Ο Λόγος Στασίμων Κυμάτων της ομάδας κεραιών C#1.



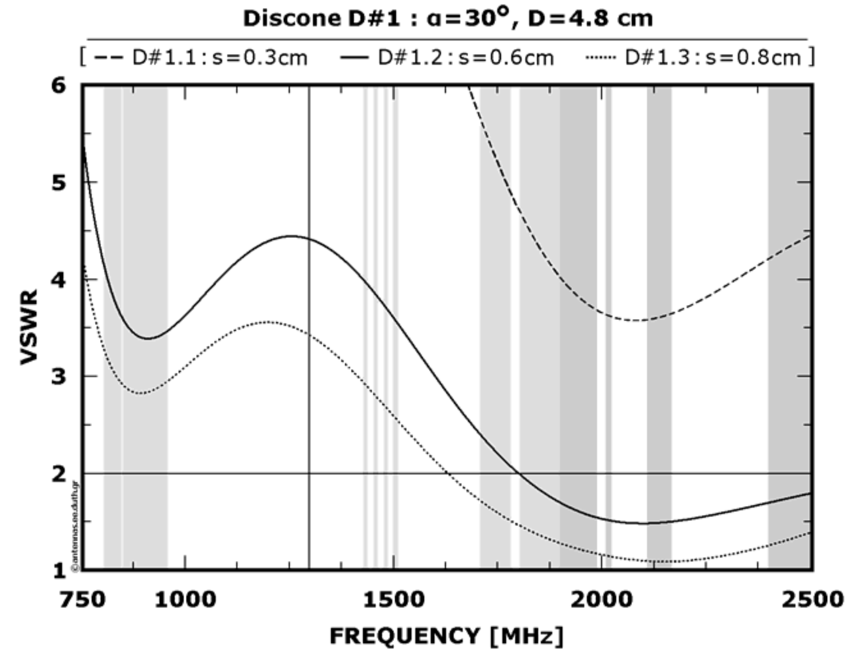
Σχήμα 4.6.10: Ένταση Ακτινοβολίας στο Οριζόντιο επίπεδο της ομάδας κεραιών C#1.



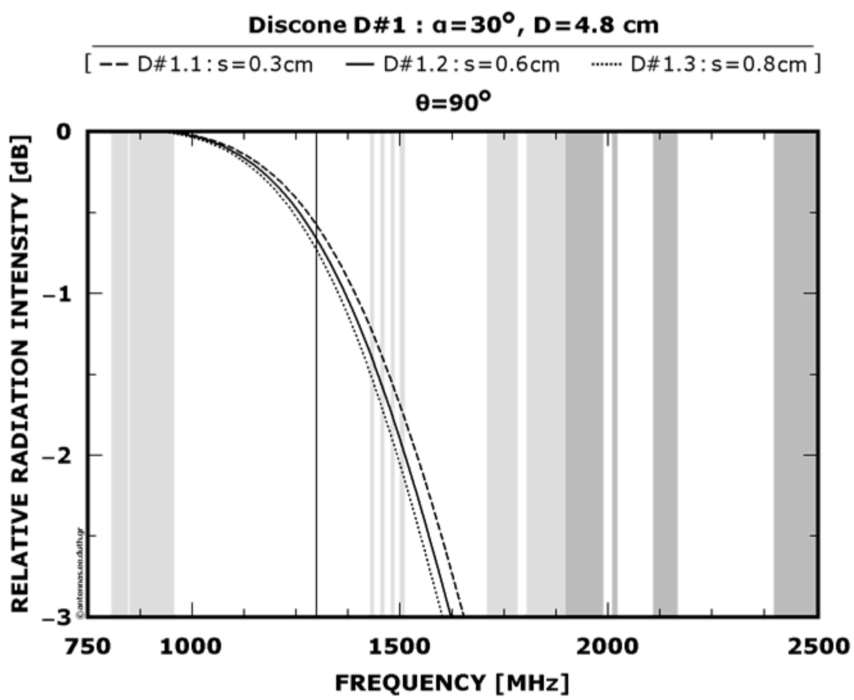
Σχήμα 4.6.11: Ο Λόγος Στασίμων Κυμάτων της ομάδας κεραιών C#2.



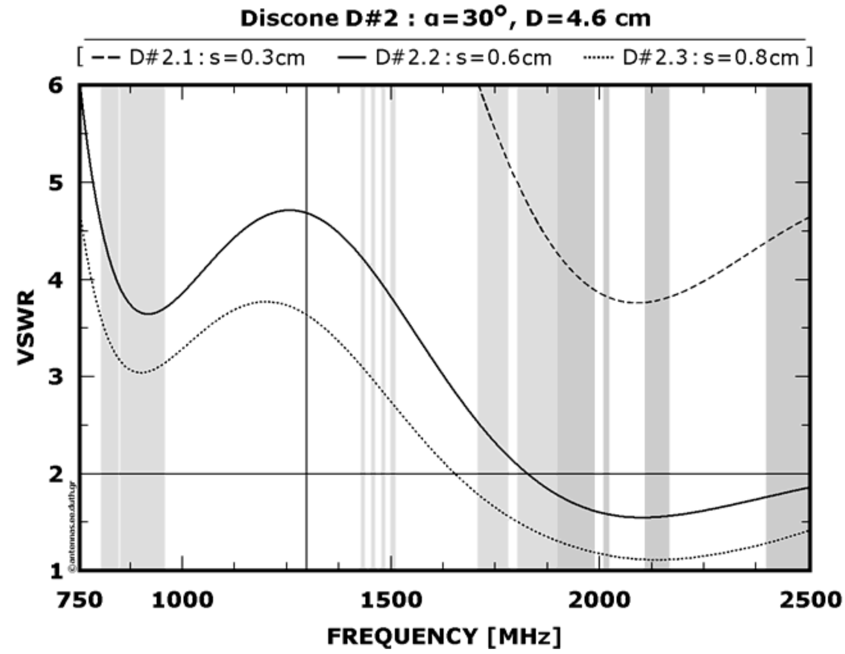
Σχήμα 4.6.12: Ένταση Ακτινοβολίας στο Οριζόντιο επίπεδο της ομάδας κεραιών C#2.



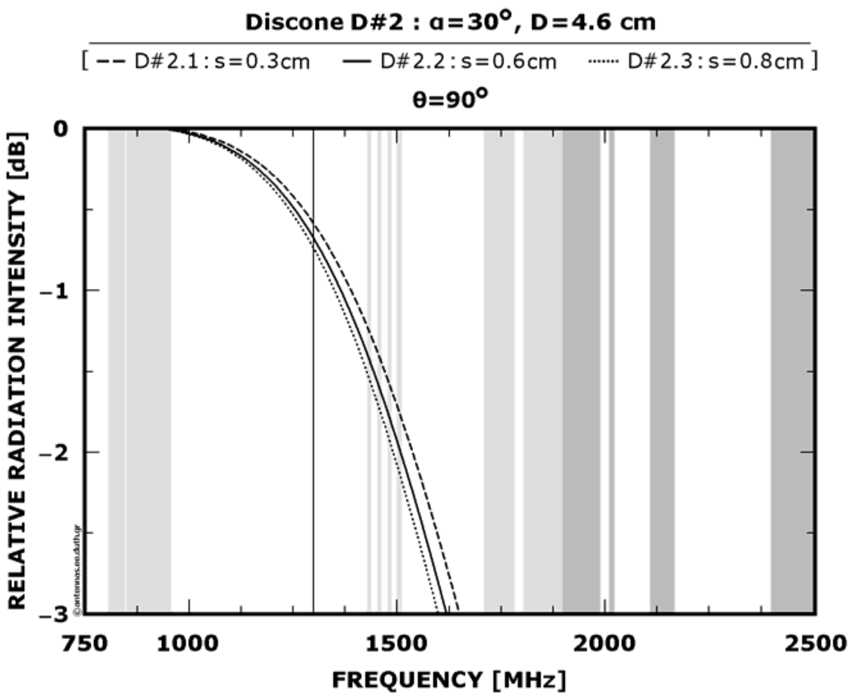
Σχήμα 4.6.13: Ο Λόγος Στασίμων Κυμάτων της ομάδας κεραιών D#1.



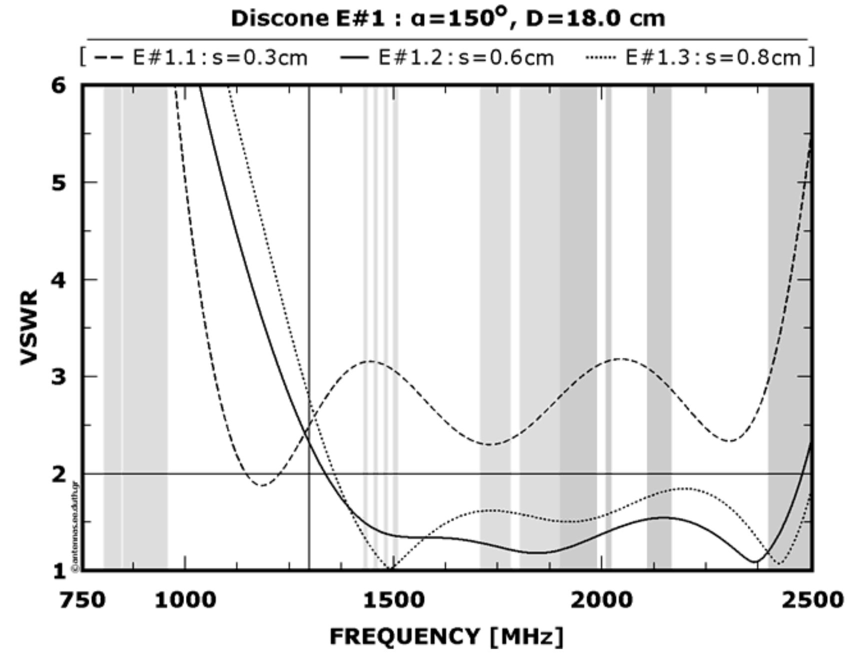
Σχήμα 4.6.14: Ένταση Ακτινοβολίας στο Οριζόντιο επίπεδο της ομάδας κεραιών D#1.



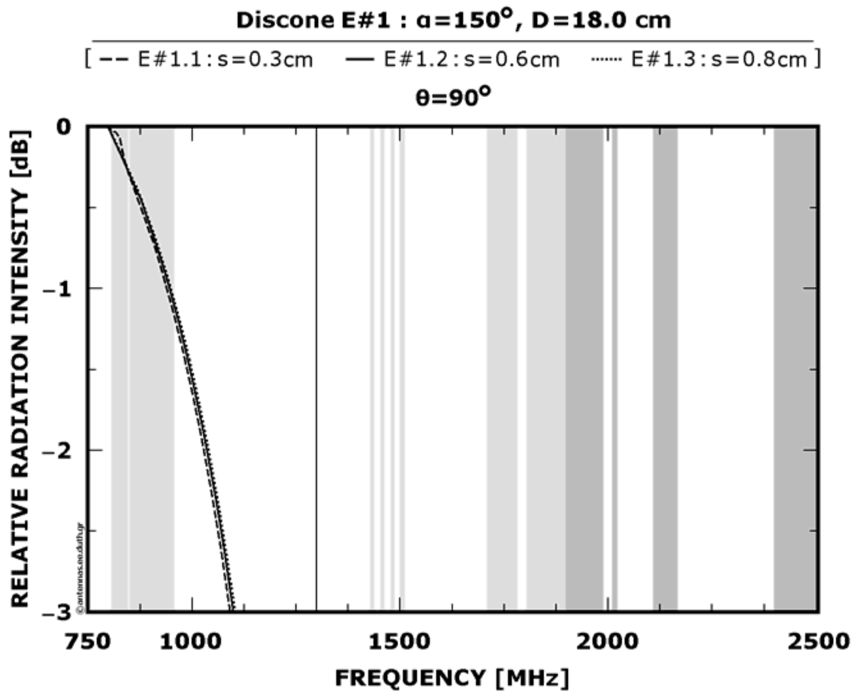
Σχήμα 4.6.15: Ο Λόγος Στασίμων Κυμάτων της ομάδας κεραιών D#2.



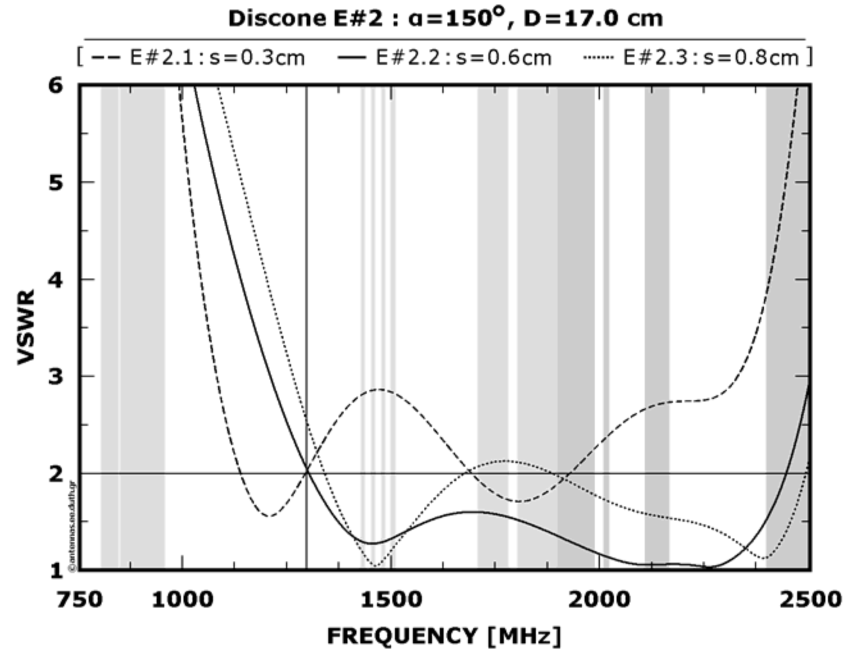
Σχήμα 4.6.16: Ένταση Ακτινοβολίας στο Οριζόντιο επίπεδο της ομάδας κεραιών D#2.



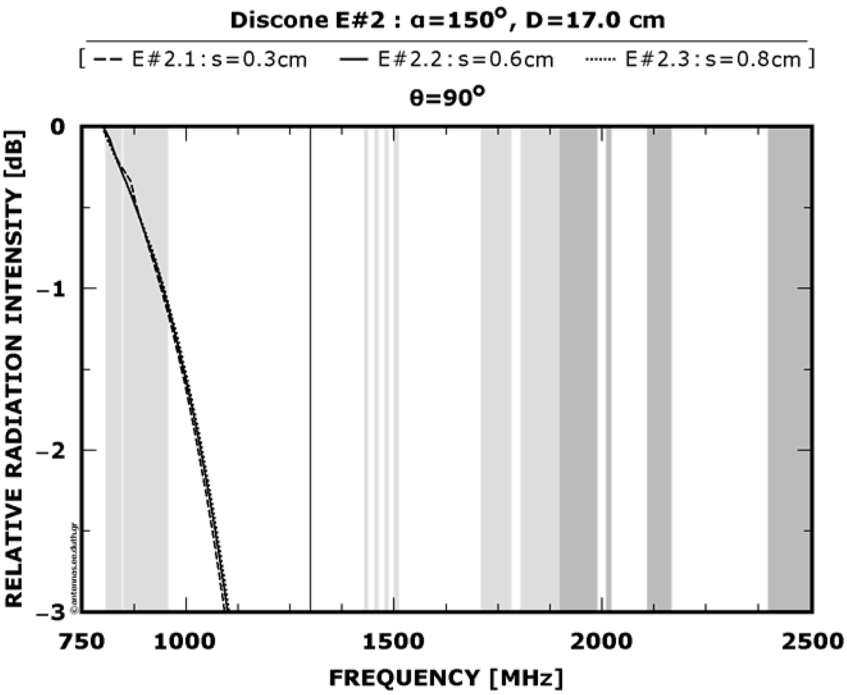
Σχήμα 4.6.17: Ο Λόγος Στασίμων Κυμάτων της ομάδας κεραιών Ε#1.



Σχήμα 4.6.18: Ένταση Ακτινοβολίας στο Οριζόντιο επίπεδο της ομάδας κεραιών Ε#1.



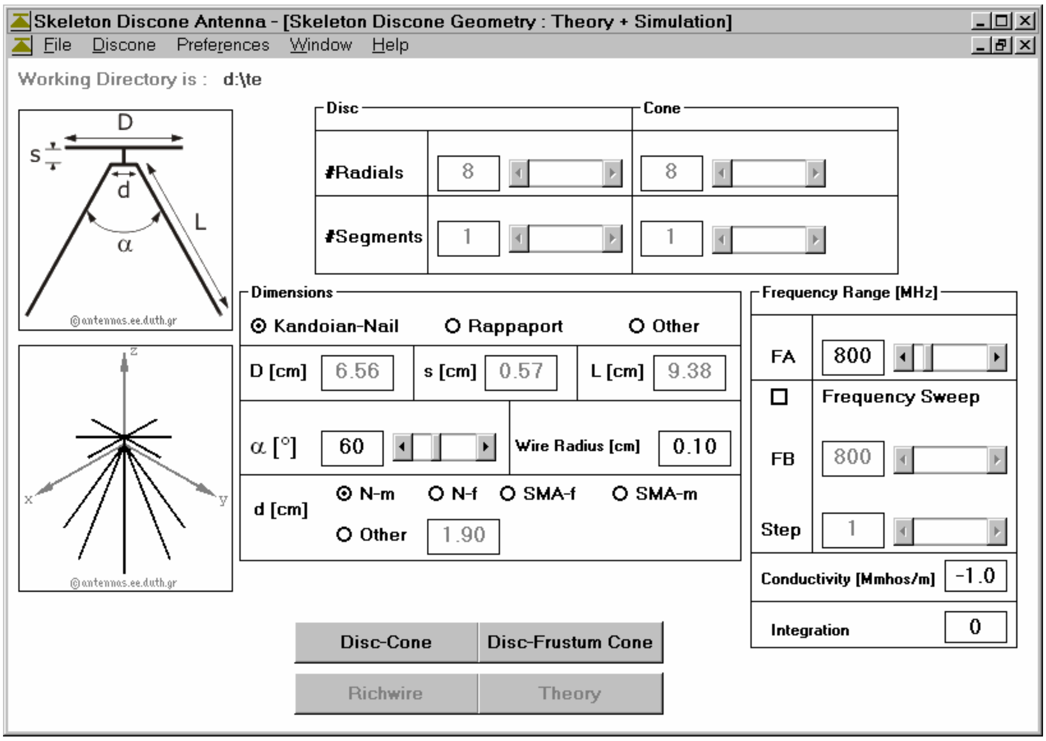
Σχήμα 4.6.19: Ο Λόγος Στασίμων Κυμάτων της ομάδας κεραιών E#2.



Σχήμα 4.6.20: Ένταση Ακτινοβολίας στο Οριζόντιο επίπεδο της ομάδας κεραιών E#2.

4.7: Σύγκριση των θεωρητικών αποτελεσμάτων με τα αποτελέσματα της προσομοίωσης.

Στο σημείο αυτό και πριν προχωρήσουμε στην κατασκευή των μοντέλων που αποφασίσαμε, κρίναμε σκόπιμο να συγκρίνουμε τα αποτελέσματα της θεωρητικής μελέτης του διαγράμματος ακτινοβολίας της Skeleton Discone με τα αποτελέσματα της προσομοίωσης. Για το σκοπό αυτό προσθέσαμε στο πρόγραμμα Skeleton Discone ένα ακόμα παράθυρο, το “Skeleton Discone Geometry : Theory + Simulation”, το οποίο φαίνεται στο Σχήμα 4.7.1.



Σχήμα 4.7.1: Παράθυρο Skeleton Discone Geometry : Theory + Simulation.

Στο παράθυρο αυτό ισχύουν όλα όσα περιγράφονται στην παράγραφο 4.3.1 με τις εξής δύο διαφορές:

(1) Το κουμπί Theory μέσω του οποίου τρέχουμε το πρόγραμμα σε FORTRAN που συντάξαμε για τη συνάρτηση του διαγράμματος ακτινοβολίας Skeleton Discone κεραίας 16 στοιχείων (8 ακτίνες για το δίσκο και 8 ακτίνες για τον κώνο).

(2) Τα πλαίσια Disc-Cone είναι απενεργοποιημένα, με σταθερές τιμές: 8 ακτίνες για το δίσκο, 8 ακτίνες για τον κώνο και 1 τμήμα ανά ακτίνα δίσκου και κώνου.

Το ένα (1) τμήμα ανά ακτίνα δίσκου και ένα (1) τμήμα ανά ακτίνα κώνου είναι απαραίτητη προϋπόθεση για τη σύγκριση με τα θεωρητικά αποτελέσματα. Το γεγονός αυτό μειώνει το εύρος συχνοτήτων της μελέτης λόγω του περιορισμού που εισάγει το RICHWIRE όσον αφορά το μεγαλύτερο δυνατό αποδεκτό τμήμα. Η μέγιστη δυνατή συχνότητα λειτουργίας καθορίζεται από τη σχέση

$$f \leq \frac{450}{\pi \cdot \ell_{max}} \tag{4.7.2}$$

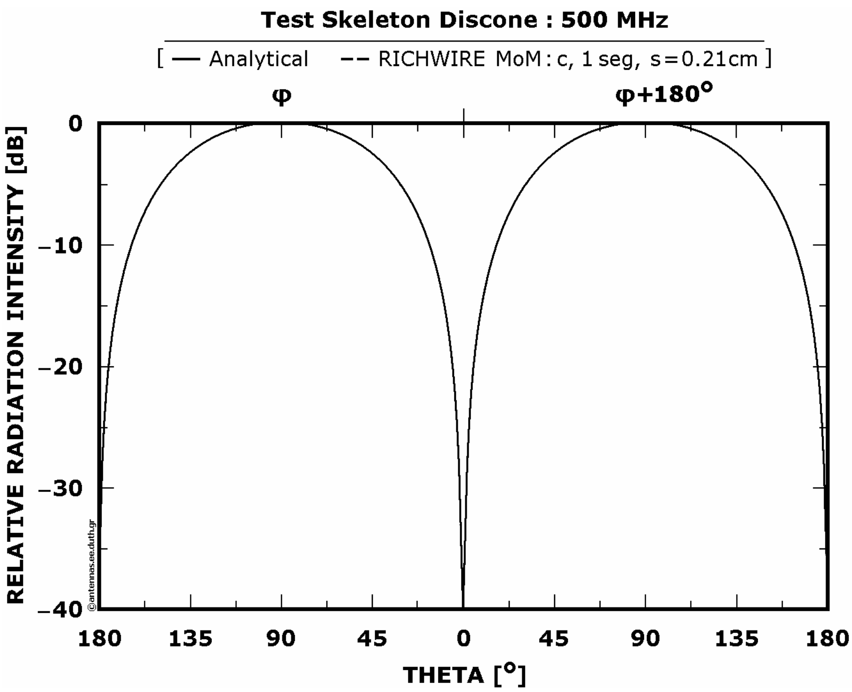
Έτσι, για το δοκιμαστικό μοντέλο του κεφαλαίου 3 έχουμε

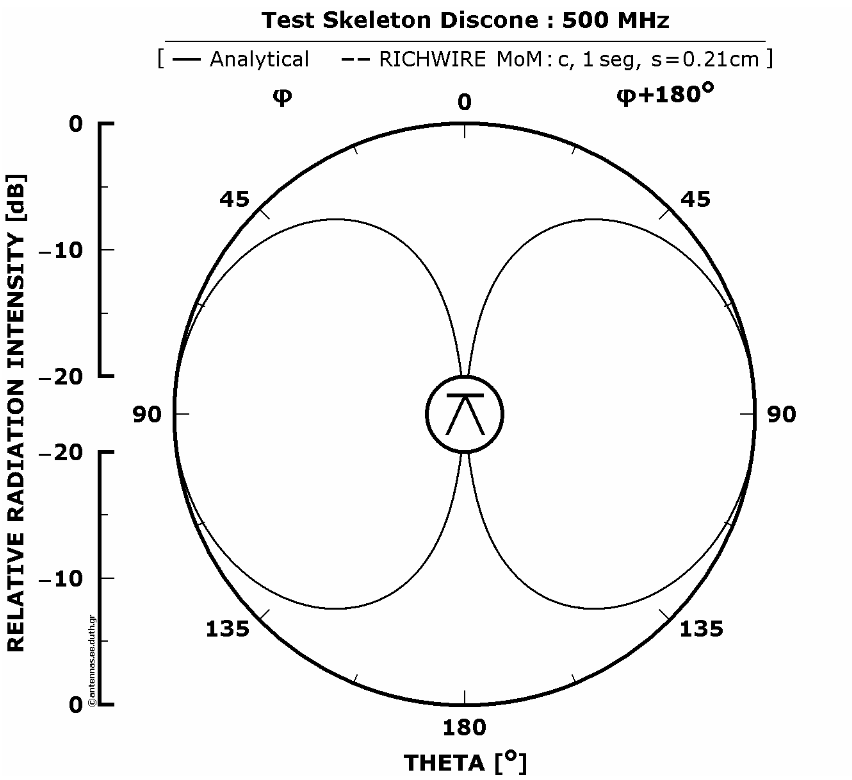
$$f \leq \frac{450}{\pi \cdot \ell_{max}} \Rightarrow f \leq \frac{450}{\pi \cdot 0.15} \Rightarrow f \leq 954.92 \text{ MHz} \tag{4.7.3}$$

ενώ για τα μοντέλα των ομάδων A, B, C ισχύει

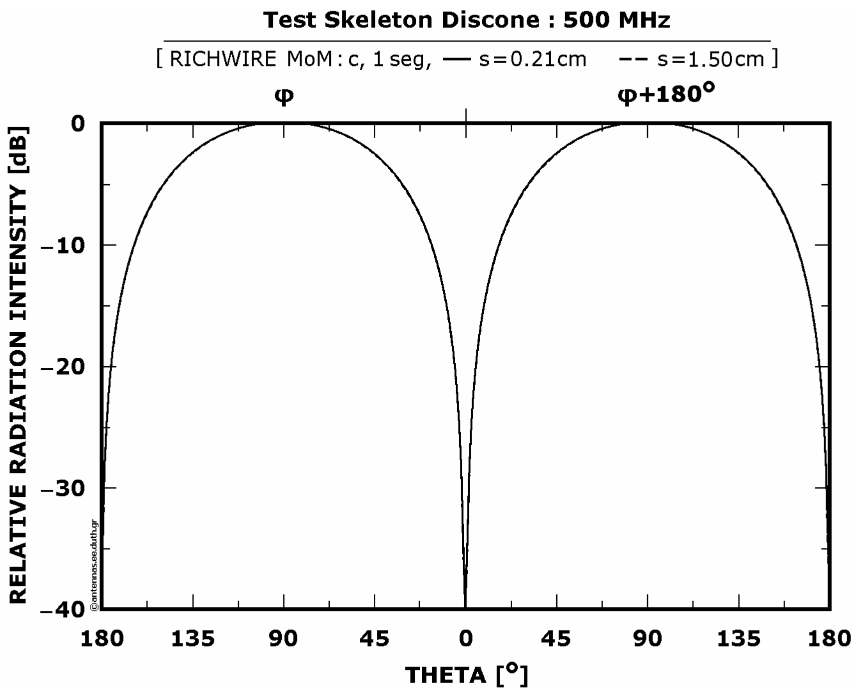
$$f \leq \frac{450}{\pi \cdot \ell_{max}} \Rightarrow f \leq \frac{450}{\pi \cdot 0.125} \Rightarrow f \leq 1145.91 \text{ MHz} \tag{4.7.4}$$

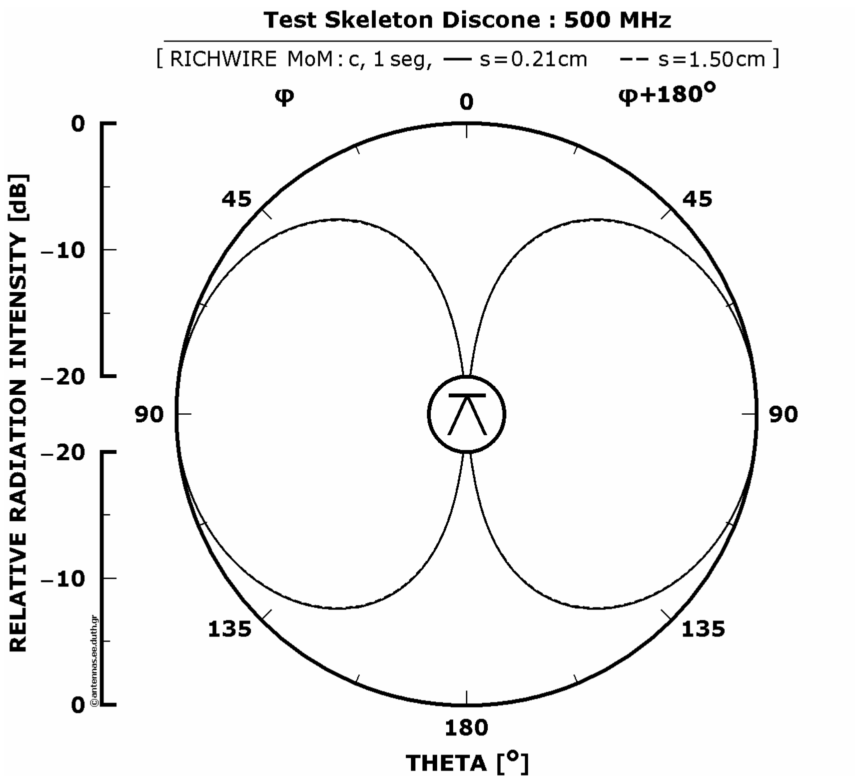
Στη συνέχεια παραθέτουμε συγκριτικά αποτελέσματα μεταξύ της θεωρητικής ανάλυσης και της προσομοίωσης όπου θα συμπεριλάβουμε και τα αποτελέσματα της προσομοίωσης με 8 τμήματα ανά ακτίνα δίσκου και κώνου (145 συνολικά) για λόγους καθαρά επιβεβαίωσης της ορθότητας της προσομοίωσης. Δίνουμε τα αποτελέσματα για το δοκιμαστικό μοντέλο και ενδεικτικά για δύο μόνο συχνότητες, 500MHz και 900MHz, σε τέσσερα βήματα. Πρώτα συγκρίνουμε τα αποτελέσματα της θεωρητικής ανάλυσης με εκείνα της προσομοίωσης με τη χρήση του μοντέλου Disc-Cone το οποίο θα συμβολίζουμε με το γράμμα c, με την ελάχιστη δυνατή απόσταση μεταξύ δίσκου και κώνου που επιτρέπει το πρόγραμμα προσομοίωσης, $s = 0.21\,\text{cm}$ και θεωρώντας ένα τμήμα ανά ακτίνα δίσκου και κώνου. Μετά συγκρίνουμε τα αποτελέσματα της προσομοίωσης με τη χρήση του μοντέλου c για αποστάσεις $s = 0.21\,\text{cm}$ και $s = 1.50\,\text{cm}$ δηλαδή όση θα είναι η απόσταση s της κεραίας που θα κατασκευαστεί, με ένα τμήμα ανά ακτίνα δίσκου και κώνου. Έπειτα συγκρίνουμε τα αποτελέσματα με $s = 1.50\,\text{cm}$ με εκείνα της προσομοίωσης με τη χρήση του μοντέλου Disc-Frustum Cone, το οποίο θα συμβολίζουμε με το γράμμα f, θεωρώντας ένα τμήμα ανά ακτίνα δίσκου και κώνου και τέλος συγκρίνουμε τα αποτελέσματα αυτά με εκείνα της προσομοίωσης με τη χρήση του μοντέλου f και 8 τμήματα ανά ακτίνα δίσκου και κώνου.



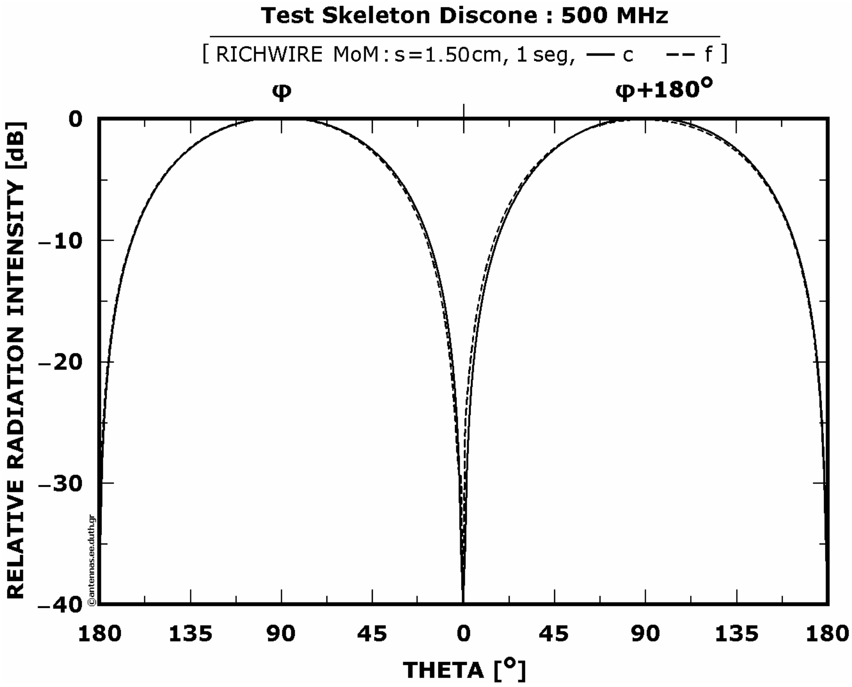


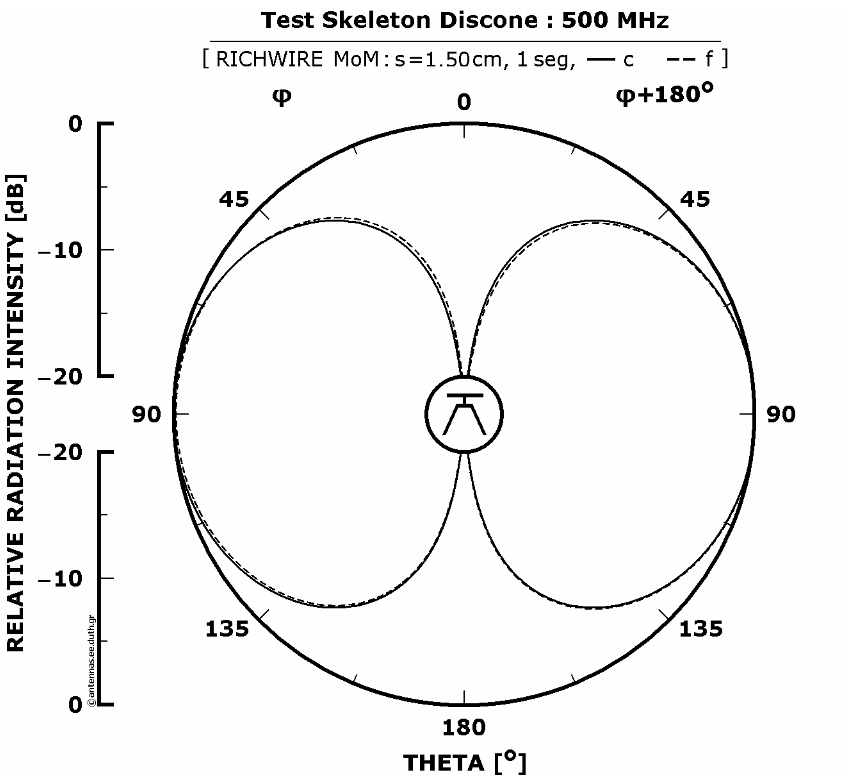
Σχήμα 4.7.2: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



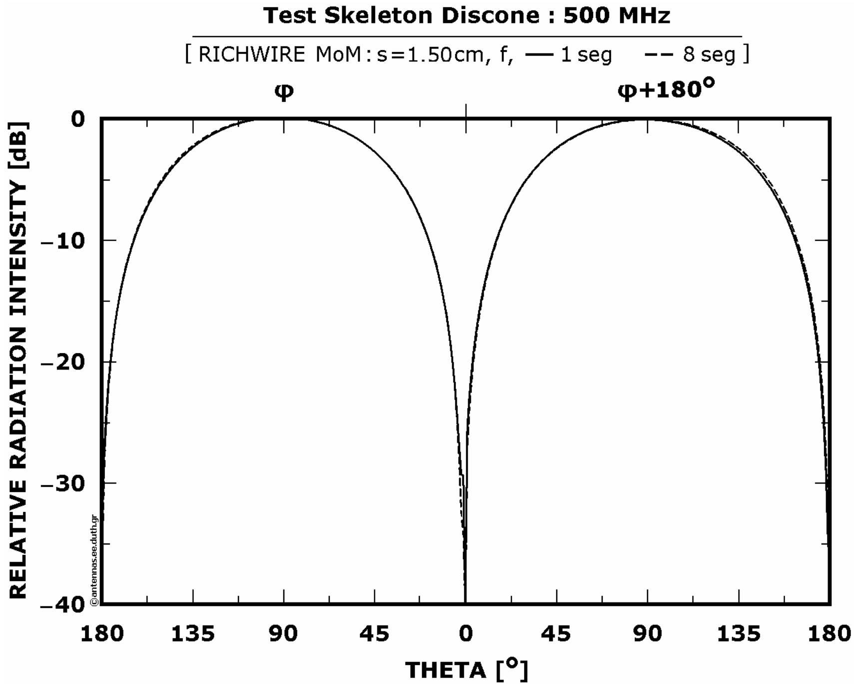


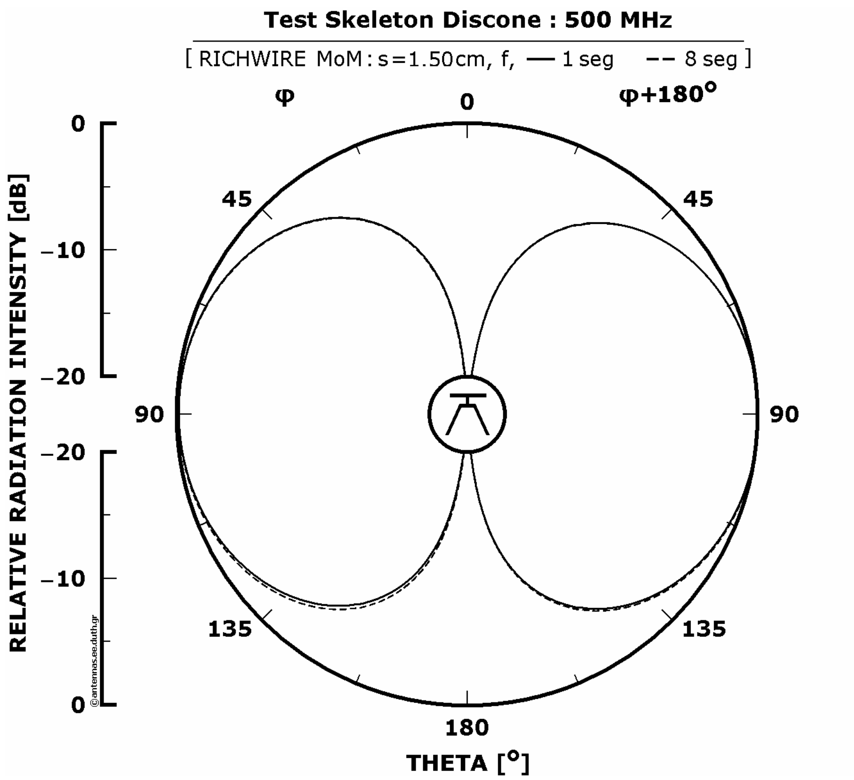
Σχήμα 4.7.3: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



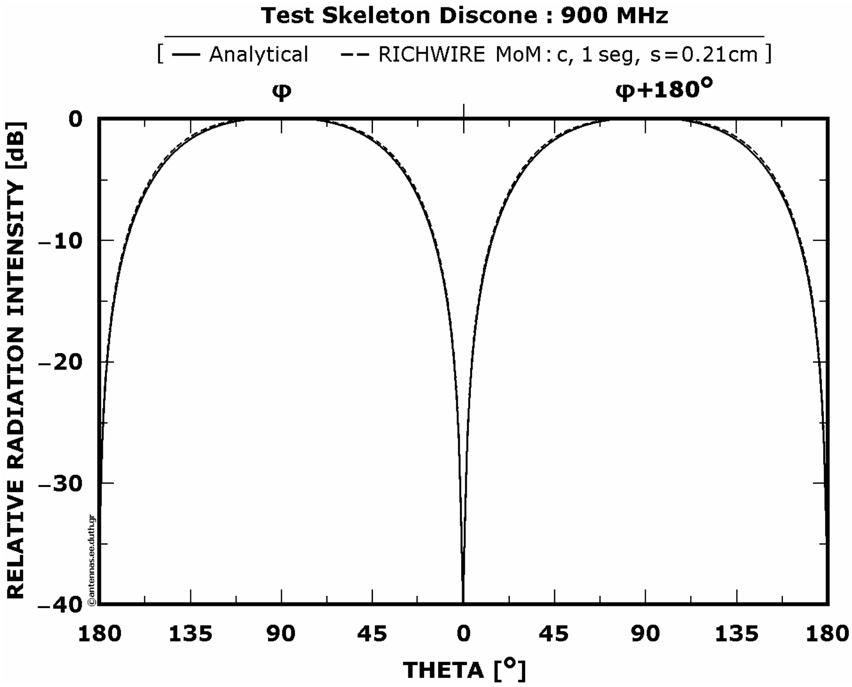


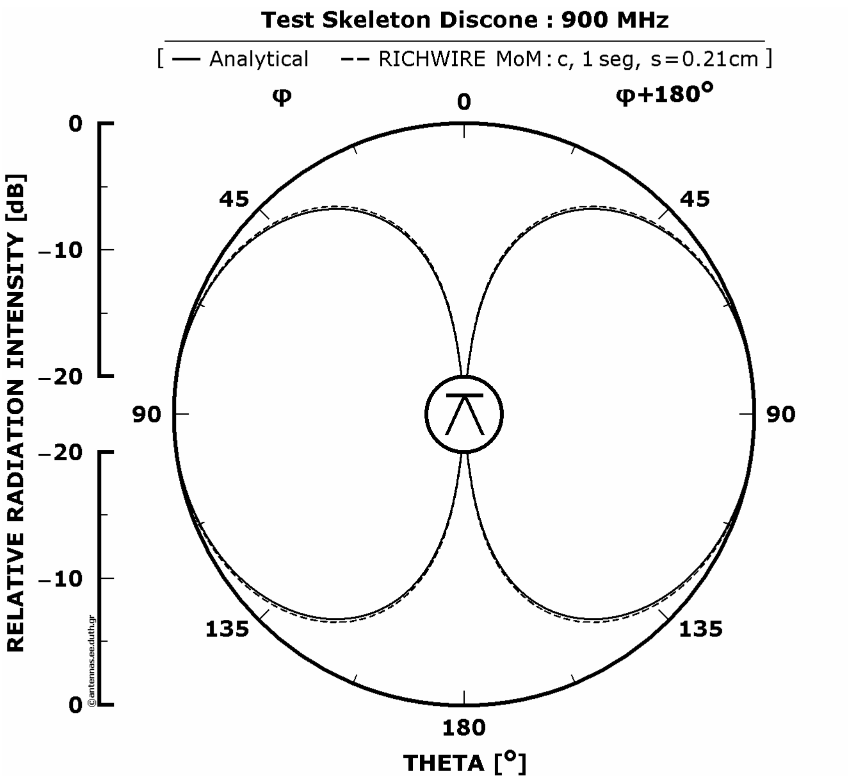
Σχήμα 4.7.4: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



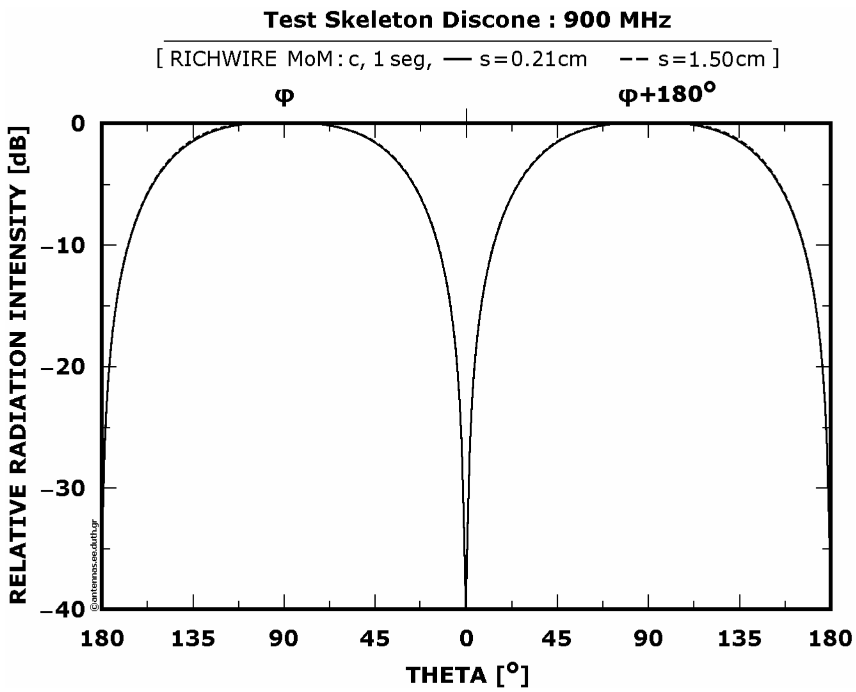


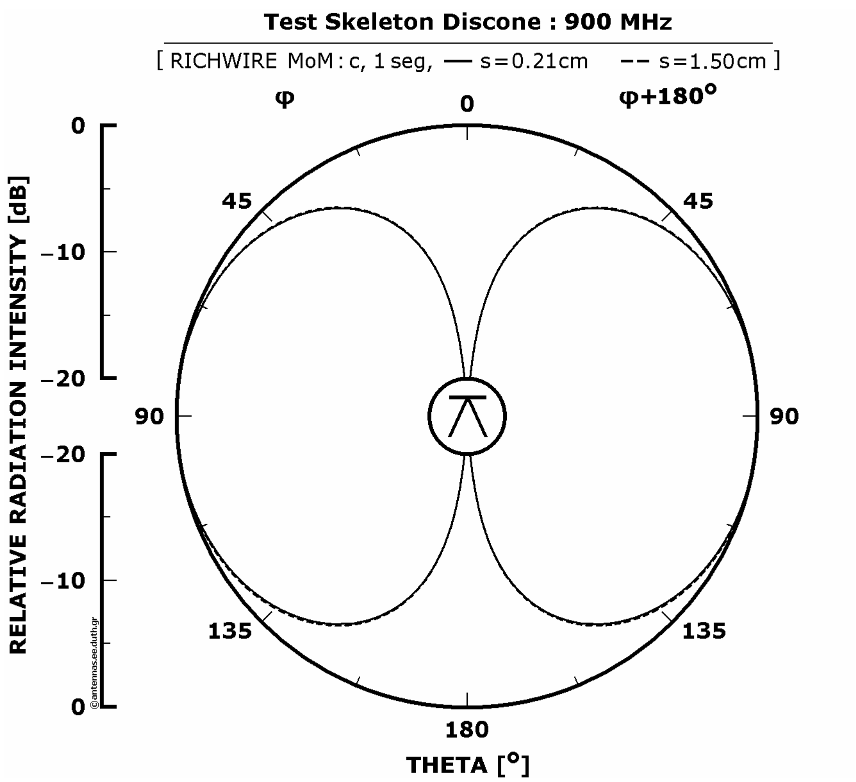
Σχήμα 4.7.5: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



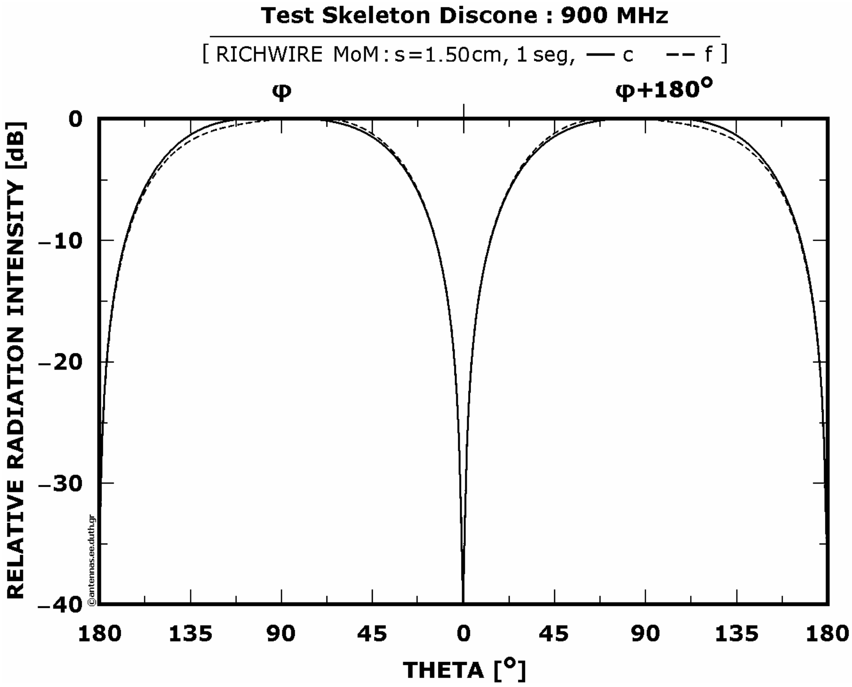


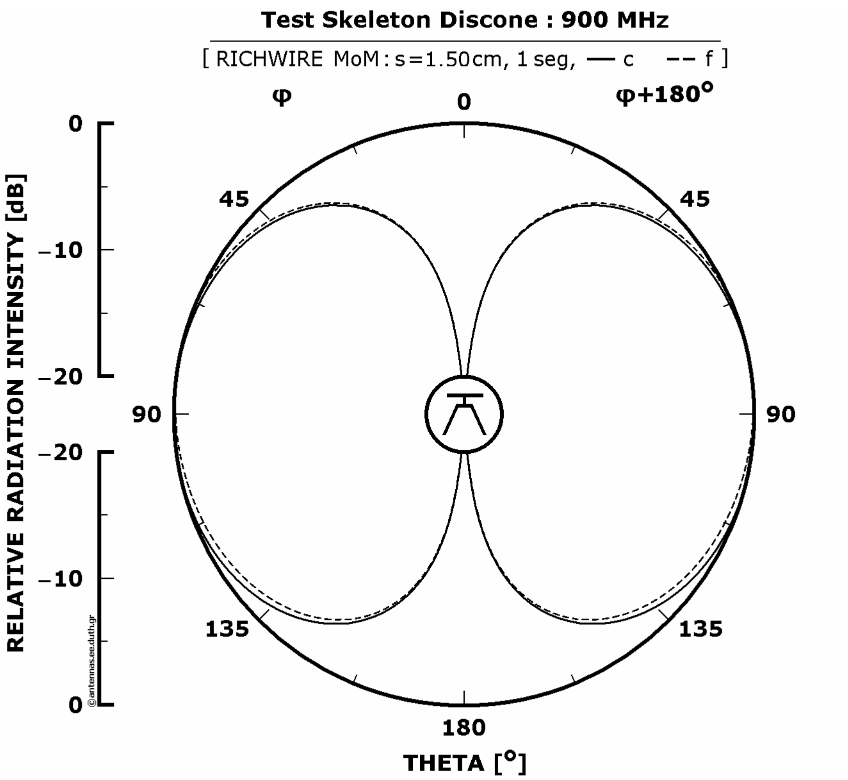
Σχήμα 4.7.6: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



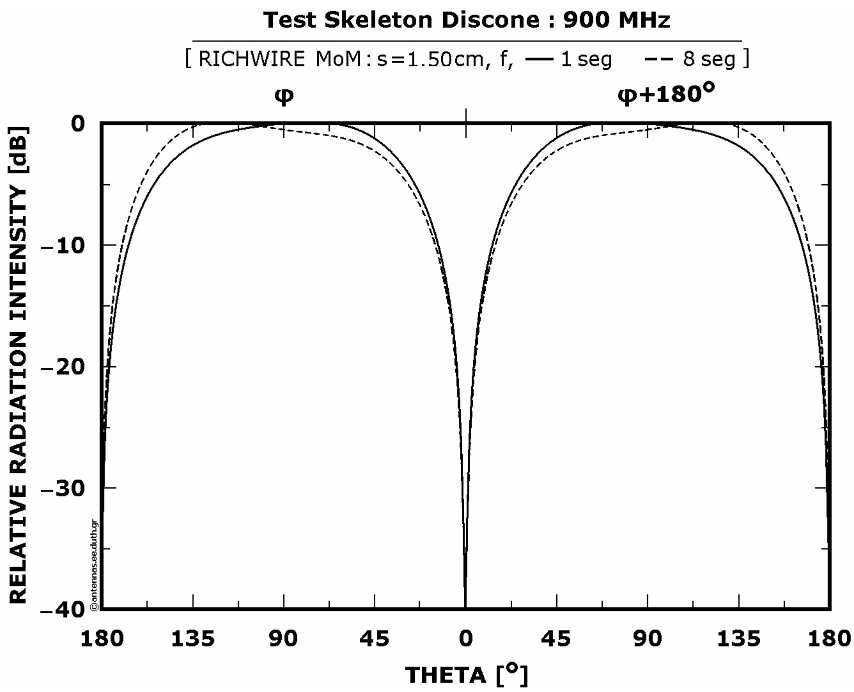


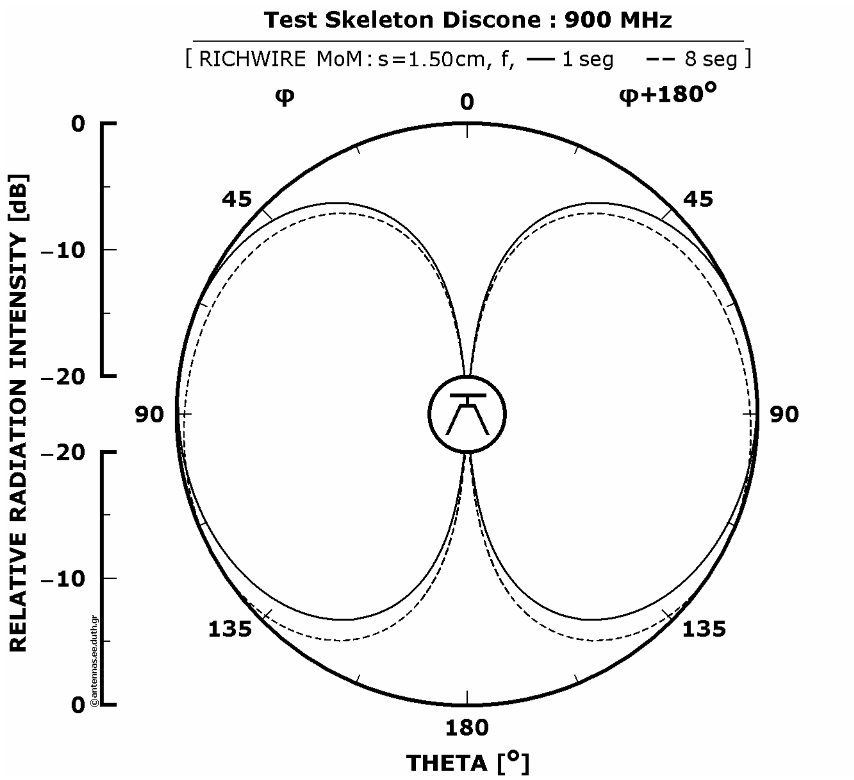
<u>Σχήμα 4.7.7</u>: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.





Σχήμα 4.7.8: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.





<u>Σχήμα 4.7.9</u>: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.

Από τα Σχ.4.7.2-4.7.9 είναι φανερό ότι υπάρχει πολύ καλή συμφωνία μεταξύ της θεωρητικής μελέτης του διαγράμματος ακτινοβολίας της Skeleton Discone και της προσομοίωσης με το πρώτο μοντέλο, c, αλλά και με το δεύτερο μοντέλο, f. Παρατηρούμε ότι μικρές σχετικά αποκλίσεις εμφανίζονται στη μεγαλύτερη συχνότητα εκεί όπου το ηλεκτρικό μήκος των ακτίνων της κεραίας αυξάνει. Θα επιλέξουμε να χρησιμοποιήσουμε το δεύτερο μοντέλο f για την προσομοίωση γιατί προσεγγίζει καλύτερα την πραγματική κατασκευή των κεραιών και όπως θα δούμε παρακάτω και τα αποτελέσματα των μετρήσεων τόσο για την αντίσταση εισόδου όσο και για το διάγραμμα ακτινοβολίας των κεραιών.

Δεν παραθέτουμε αποτελέσματα για κεραίες με γωνία κώνου διαφορετική των 60° διότι τα αποτελέσματα ήταν το ίδιο καλά και δεν προσέθεταν ή αφαιρούσαν τίποτα στο παραπάνω συμπέρασμα.

Τέλος, για να ελέγξουμε τον ισχυρισμό της κατακόρυφης πόλωσης της κεραίας κατά τη βιβλιογραφία, υπολογίσαμε την ένταση ακτινοβολίας U ως

$$U = U_\theta + U_\varphi \qquad (4.7.5)$$

θεωρώντας ξεχωριστά τους όρους U_θ και U_φ. Σχηματίζοντας το λόγο

$$\frac{U_\varphi}{U_\theta} \qquad (4.7.6)$$

διαπιστώσαμε ότι η τιμή του είναι της τάξης του $1.\mathrm{x}10^{-6}$, πλην από τις αναμενόμενες περιπτώσεις πλησίον του μηδενισμού της έντασης ακτινοβολίας, με αποτίμηση στο χώρο αλλά και στα τρία κύρια επίπεδα. Αυτό σημαίνει ότι το διάγραμμα ακτινοβολίας $\bar{\bar{\mathbb{E}}}$ έχει ουσιαστικά μόνο μία συνιστώσα, [98], και μάλιστα την $\dot{\mathbb{E}}_\theta$, όπως π.χ. ένα δίπολο λ/2 στον άξονα z. Έτσι, για τη συγκεκριμένη διάταξη της κεραίας (Σχ. 4.3.1.3), όπου άξονας της Skeleton Discone θεωρείται ο z άξονας του συστήματος συντεταγμένων, η πόλωση είναι ευθύγραμμη και στο οριζόντιο επίπεδο κατακόρυφη.

Κεφάλαιο 5 : Κατασκευές και Μετρήσεις.

5.1 : Εισαγωγή.

Στην εργασία αυτή κατασκευάστηκαν συνολικά 20 Skeleton Discone κεραίες με κοινό χαρακτηριστικό τις οκτώ ακτίνες για τον δίσκο και οκτώ ακτίνες για τον κώνο. Η πρώτη από αυτές ήταν μια εντελώς δοκιμαστική κεραία τόσο για τον έλεγχο του προγράμματος μοντελοποίησης όσο και της τεχνικής υλοποίησης η οποία επρόκειτο να εφαρμοστεί σε όλες τις άλλες κατασκευές.

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν ήταν σύρμα χαλκού και συνδετήρες τύπου N-θηλυκό. Οι συγκολλήσεις των συρμάτων πραγματοποιήθηκαν με καλάϊ και κολλητήρια των 100W για τις ακτίνες του δίσκου και των 50W για τις ακτίνες του κώνου. Δύο ήταν οι βασικές δυσκολίες κατασκευής: πρώτον, η συγκόλληση εννέα συρμάτων σε ένα σημείο, το κέντρο του δίσκου και δεύτερον, η διατήρηση σταθερής γωνίας κώνου.

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στον ανηχωϊκό θάλαμο του εργαστηρίου μικροκυμάτων. Η διάταξη των μετρήσεων αποτελείται από τον HP8505A Vector Network Analyser (0.5-1300MHz), την HP8660C Synthesized Signal Generator, τον HP5340 Frequency Counter, έναν βηματικό κινητήρα με controller και έναν Η/Υ. Για τις μετρήσεις αντίστασης εισόδου χρησιμοποιήθηκαν για τη βαθμονόμηση τα πρότυπα βραχυκυκλώματος, ανοιχτοκυκλώματος και προσαρμογής, [99] που φαίνονται στο Σχήμα 5.1.1 και το πρόγραμμα αυτοματοποιημένου ελέγχου της διάταξης μετρήσεων ANALYSE ver.10, [100]. Για τις μετρήσεις διαγράμματος ακτινοβολίας χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα ANALYSE ver.13 με

το οποίο είναι δυνατή η λήψη μετρήσεων για περισσότερες της μιας συχνοτήτων σε κάθε περιστροφή του ρότορα, [101]. Ως κεραία εκπομπής χρησιμοποιήθηκε το πρότυπο απολαβής που κατασκευάστηκε το 1987 από τον κ.Γ.Λυσσούδη στα πλαίσια εκπόνησης της διπλωματικής του εργασίας και φαίνεται στο Σχήμα 5.1.2, [102]. Το διάγραμμα ακτινοβολίας της κεραίας αυτής δίνεται στο Σχήμα 5.1.3.

Οι κεραίες χωρίστηκαν σε τέσσερις ομάδες: T, A, B, και C. Στην ομάδα T ανήκει η πρώτη δοκιμαστική κεραία και η Skeleton Discone που προέκυψε από τον σχεδιασμό με το πρώτο υπολογιστικό μοντέλο Disc-Cone. Στις ομάδες A, B και C ανήκουν οι κεραίες με γωνία κώνου 120°, 90° και 60° αντίστοιχα που προέκυψαν από το σχεδιασμό με το δεύτερο υπολογιστικό μοντέλο Disc-Frustum Cone με το οποίο προσεγγίζουμε καλύτερα την γεωμετρία των πραγματικών κατασκευών.

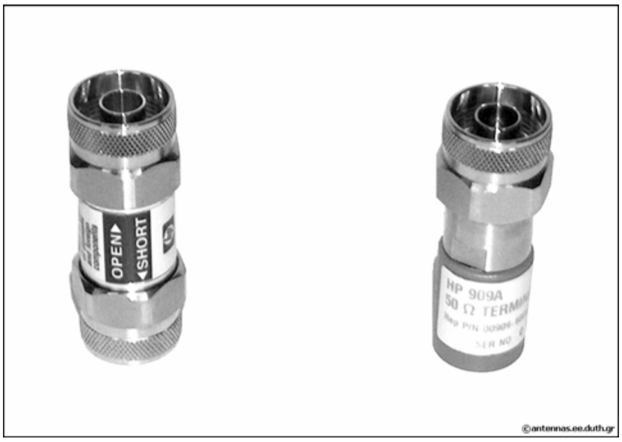
Στη συνέχεια παραθέτουμε αναλυτικά για κάθε κεραία τα επεξεργασμένα αποτελέσματα μετρήσεων για την αντίσταση εισόδου και τα διαγράμματα της σχετικής έντασης ακτινοβολίας σε κατακόρυφο και στο οριζόντιο επίπεδο. Επειδή οι μετρήσεις στο οριζόντιο επίπεδο απέδιδαν σταθερά κυκλικό διάγραμμα κρίναμε σκόπιμο να παραθέσουμε μέρος αυτών των διαγραμμάτων. Οι μετρήσεις αντίστασης καλύπτουν την περιοχή συχνοτήτων 400-1300MHz για τις κεραίες της ομάδας T και την περιοχή 600-1300MHz για τις κεραίες των υπόλοιπων ομάδων. Οι μετρήσεις των διαγραμμάτων σχετικής έντασης ακτινοβολίας καλύπτουν τις συχνότητες 800, 900, 1000, 1100, 1200 και 1300MHz.

Τα καρτεσιανά διαγράμματα έχουν εύρος τιμών 40dB ενώ τα πολικά 20dB, [103]. Η κανονικοποίηση των αποτελεσμάτων έγινε με το μέγιστο του διαγράμματος ανά επίπεδο. Για τον έλεγχο της σταθερότητας του παγκατευθυντικού διαγράμματος ακτινοβολίας σε ευρεία περιοχή συχνοτήτων, χωρίσαμε την περιοχή 800-2500MHz που μας ενδιαφέρει σε 6 υποζώνες: I (806-960MHz), II (1429-1513MHz), III (1710-1910MHz), IV (1900-2025MHz), V (2110-2170MHz), VI (2400-2499). Στην κεντρική συχνότητα κάθε υποζώνης παραθέτουμε το διάγραμμα σχετικής έντασης ακτινοβολίας στο χώρο για κάθε κεραία με εύρος τιμών 20dB.

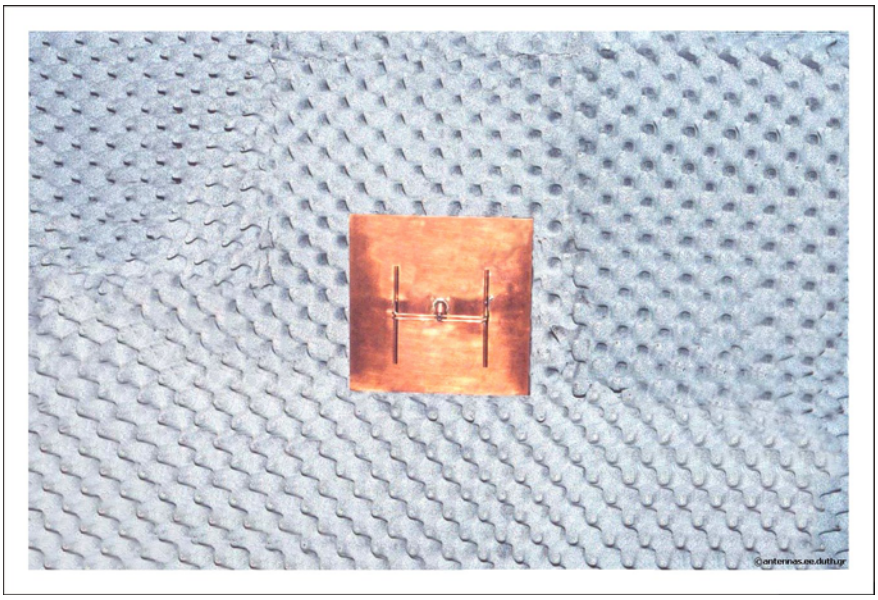
Στο Σχήμα 5.1.4 φαίνεται η διάταξη μετρήσεων εντός του ανηχωϊκού θαλάμου για τη μέτρηση αντίστασης εισόδου και διαγράμματος ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο και στο Σχήμα 5.1.5 μία μεγένθυση της κεραίας υπό εξέταση.

Τέλος, σημειώνουμε εδώ ότι όπως καταδεικνύεται από τα σχήματα που αφορούν την αντίσταση εισόδου υπάρχει μεγάλη συμφωνία μεταξύ των επεξεργασμένων αποτελεσμάτων των μετρήσεων και των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης με το μοντέλο Disc-Frustum Cone (δίσκος και κόλουρος κώνος). Επίσης από τα σχήματα που αφορούν το διάγραμμα σχετικής έντασης ακτινοβολίας είναι φανερή η σχεδόν απόλυτη συμφωνία των

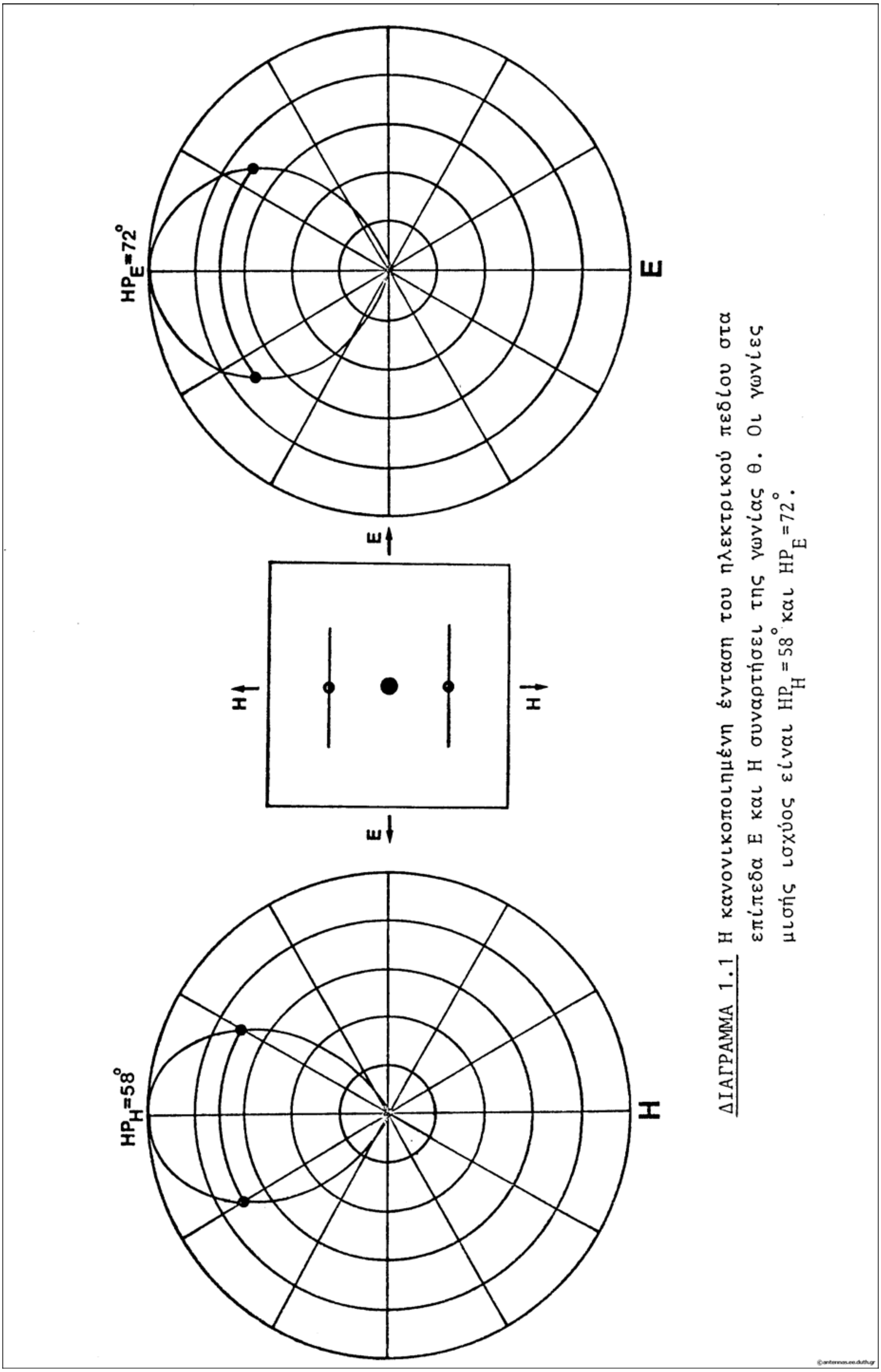
αποτελεσμάτων των μετρήσεων και της προσομοίωσης με το ίδιο μοντέλο για όλες τις κεραίες που κατασκευάστηκαν.



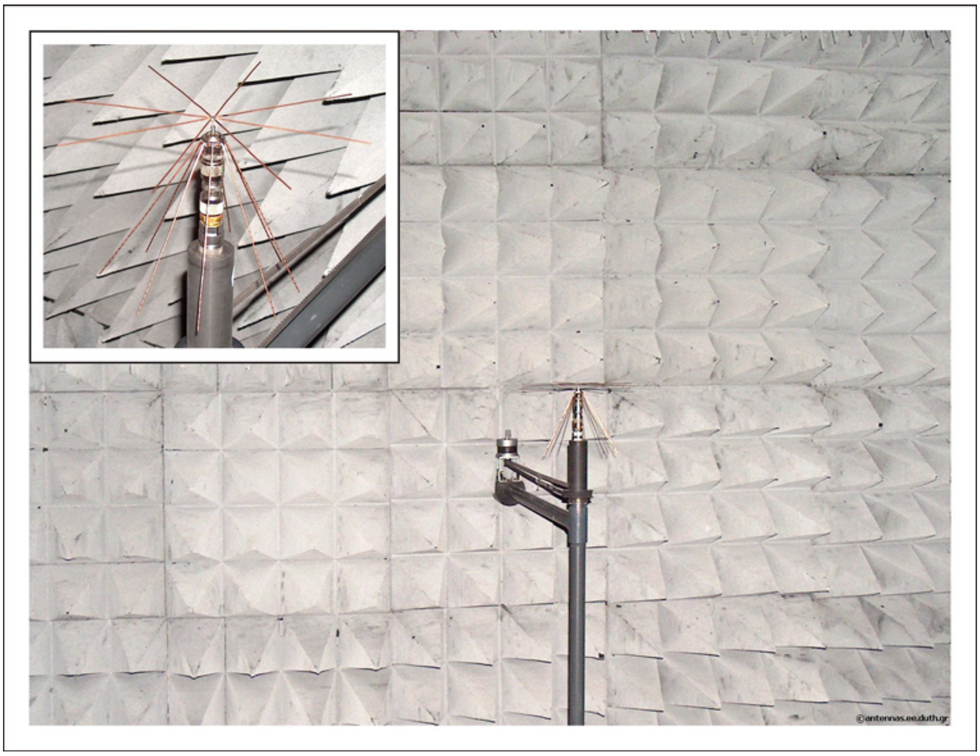
Σχήμα 5.1.1: Πρότυπα φορτία τύπου Ν-αρσενικό 50Ω της HP για calibration.



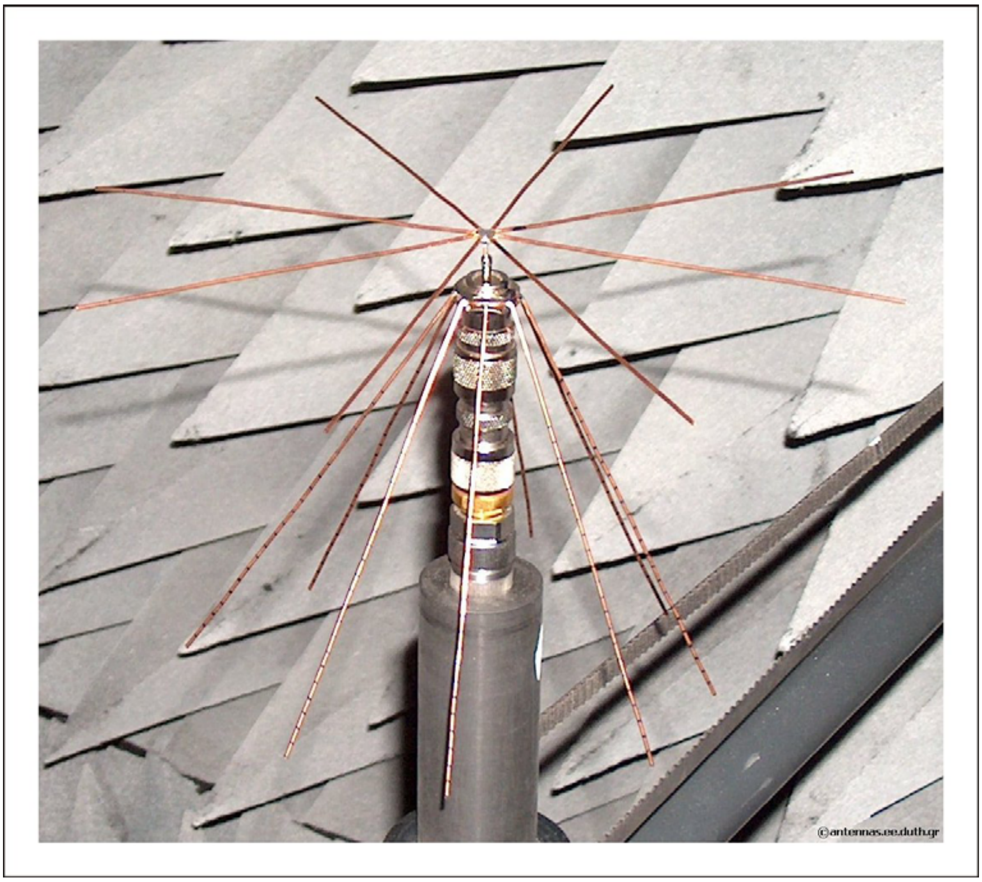
Σχήμα 5.1.2: Το πρότυπο απολαβής.



Σχήμα 5.1.3: Διάγραμμα ακτινοβολίας του προτύπου απολαβής.



Σχήμα 5.1.4: Η διάταξη του ανηχωϊκού θαλάμου.



Σχήμα 5.1.5: Η κεραία υπό εξέταση.

5.2 : Κεραίες Δοκιμής Τ ("T" Test).

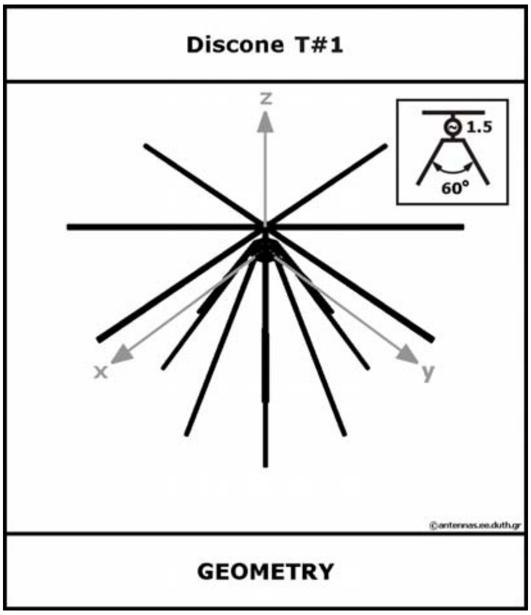
Στην ομάδα αυτή ανήκουν δύο Skeleton Discone κεραίες. Κοινό τους χαρακτηριστικό πέραν των οκτώ ακτίνων για το δίσκο και οκτώ για τον κώνο, είναι η γωνία των 60° του κώνου.

5.2.1 : Discone T#1.

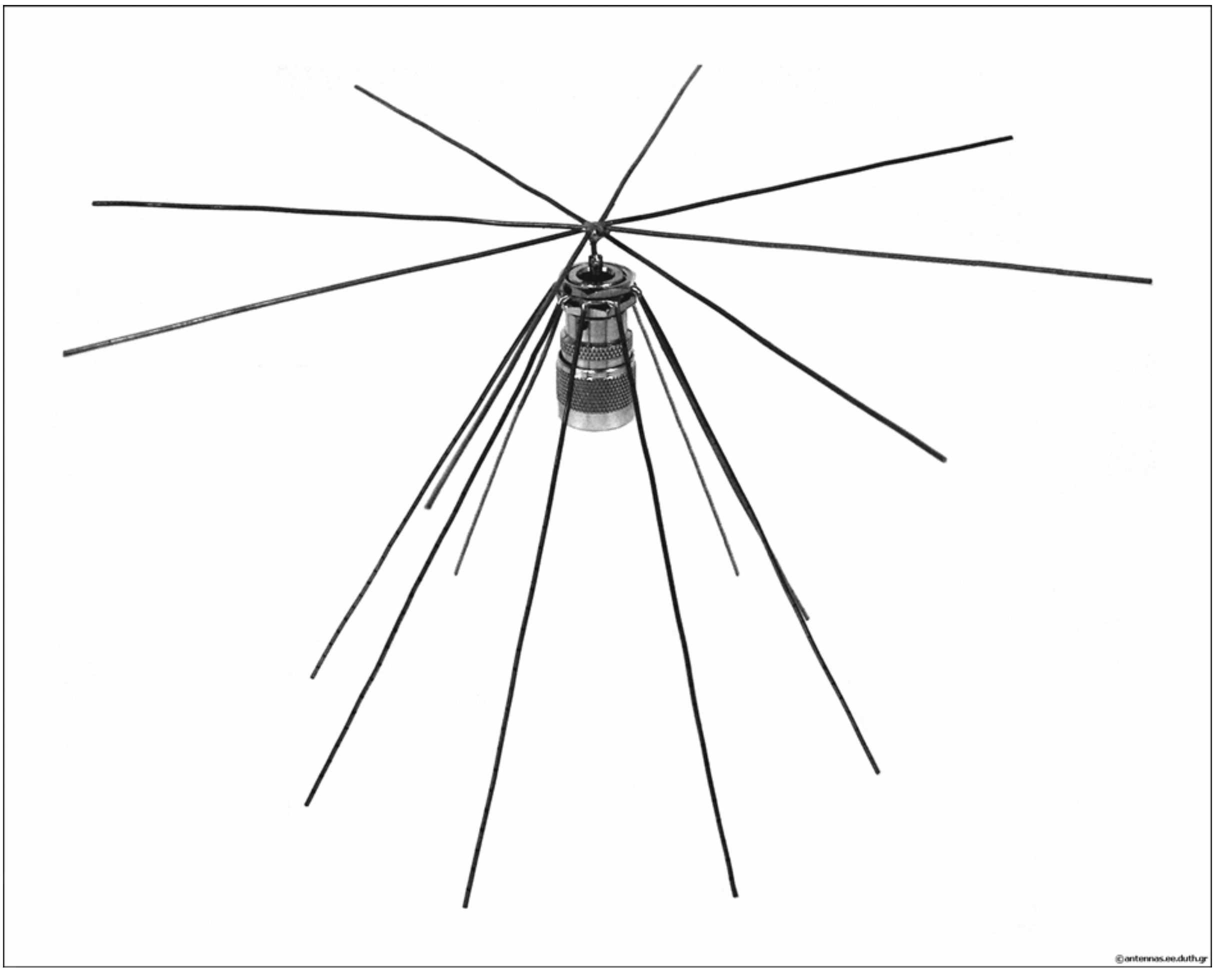
Τα χαρακτηριστικά της κεραίας δίνονται στον Πίνακα 5.2.1.1. Είναι η δοκιμαστική κεραία που εξετάσαμε στο Κεφάλαιο 3.

Πίνακας 5.2.1.1: Χαρακτηριστικά της κεραίας Τ#1.

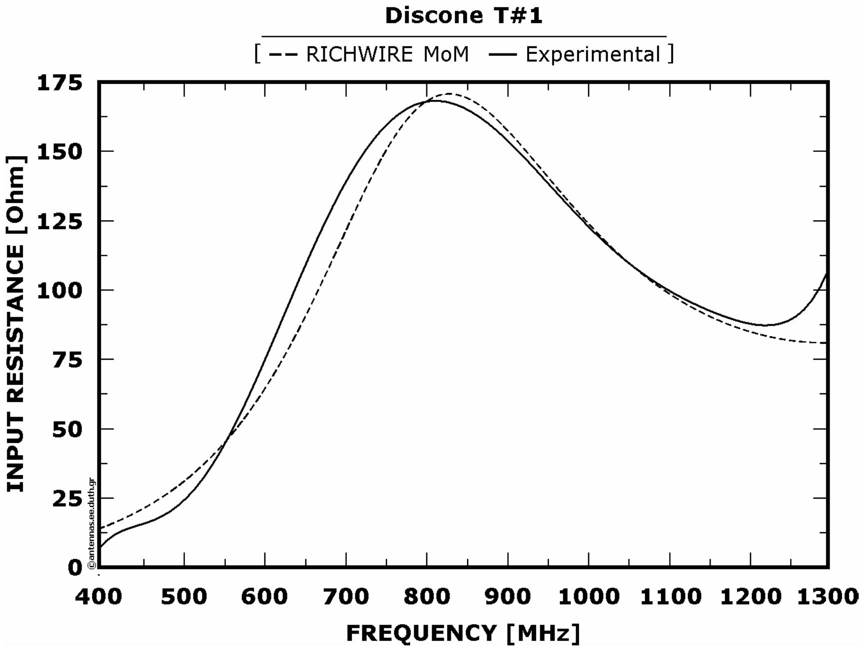
Αριθμός ακτίνων δίσκου	8
Αριθμός ακτίνων κώνου	8
Διάμετρος δίσκου D [cm]	26.0
Απόσταση δίσκου-κώνου s [cm]	1.5
Απόστημα κώνου L [cm]	15.0
Γωνία κώνου α [°]	60
Περιοχή συχνοτήτων προσομοίωσης [MHz]	[400, 2500]
Περιοχή συχνοτήτων μέτρησης [MHz]	[400, 1300]
Περιοχή συχνοτήτων με VSWR $\leq$ 2 [MHz]	[1110, 1420] $\wedge$ [1520, 1600]
Κατευθυντικότητα [dBi]	[1.19, 6.62]



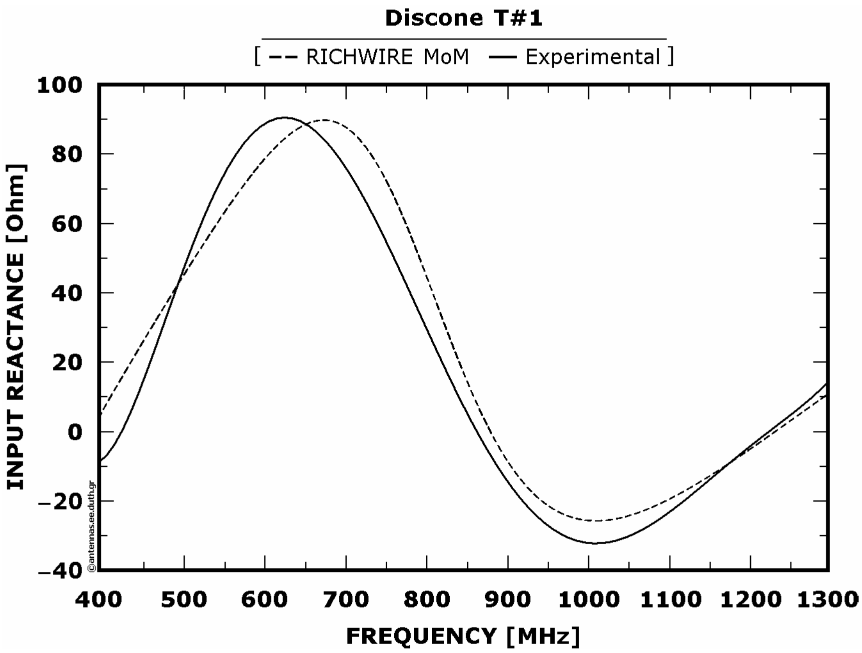
Σχήμα 5.2.1.1: Γεωμετρία της Discone T#1.



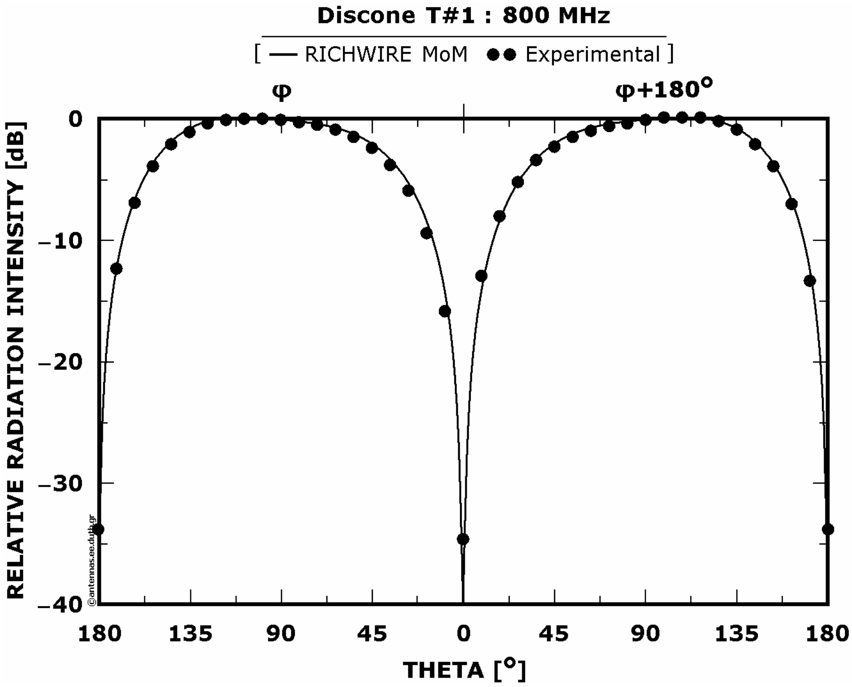
Σχήμα 5.2.1.2: Η Discone T#1.

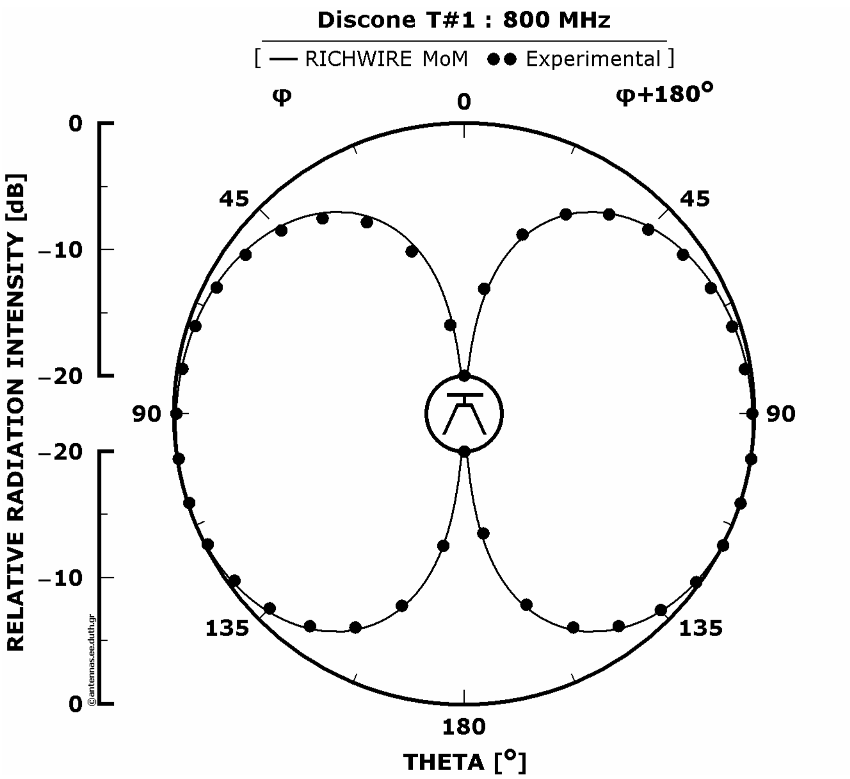


Σχήμα 5.2.1.3: Πραγματικό μέρος της σύνθετης αντίστασης εισόδου.

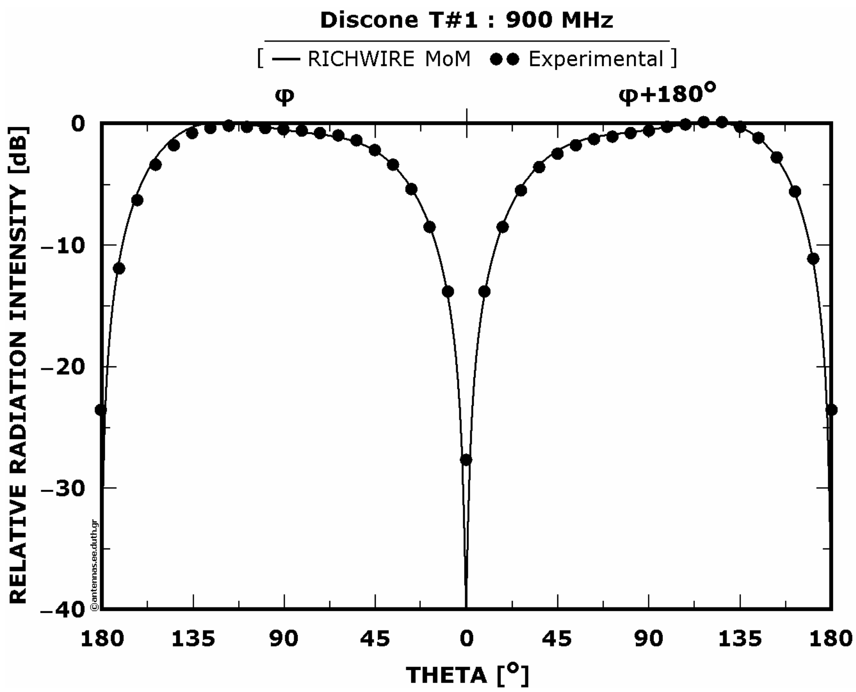


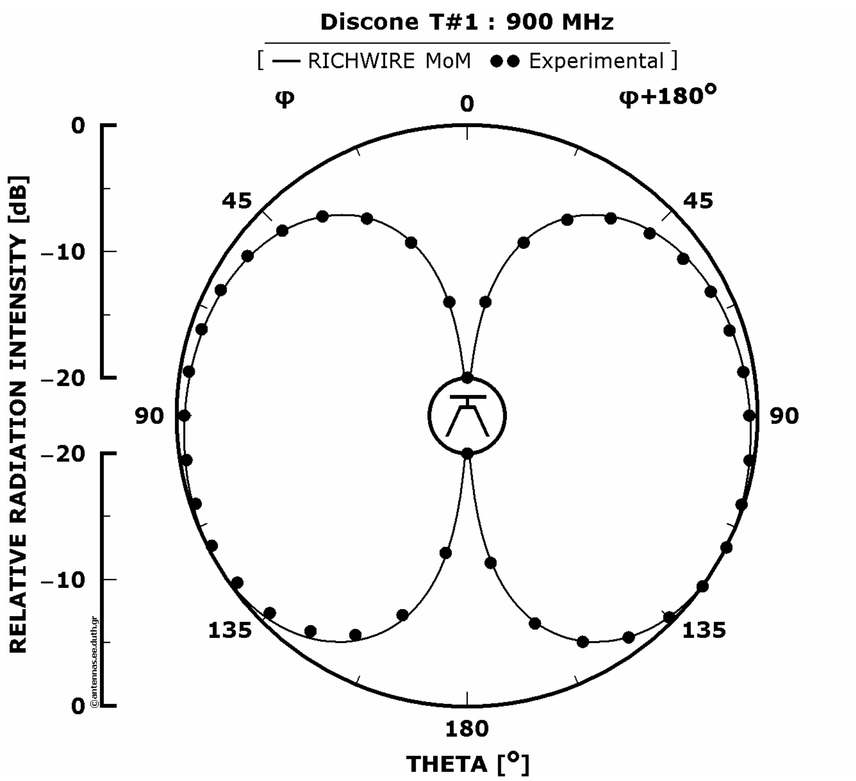
Σχήμα 5.2.1.4: Φανταστικό μέρος της σύνθετης αντίστασης εισόδου.



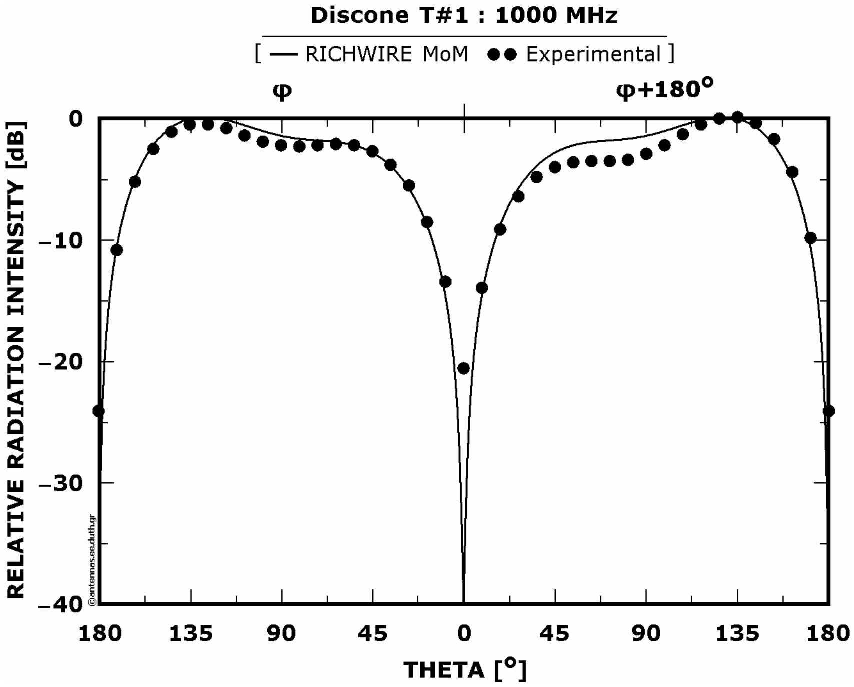


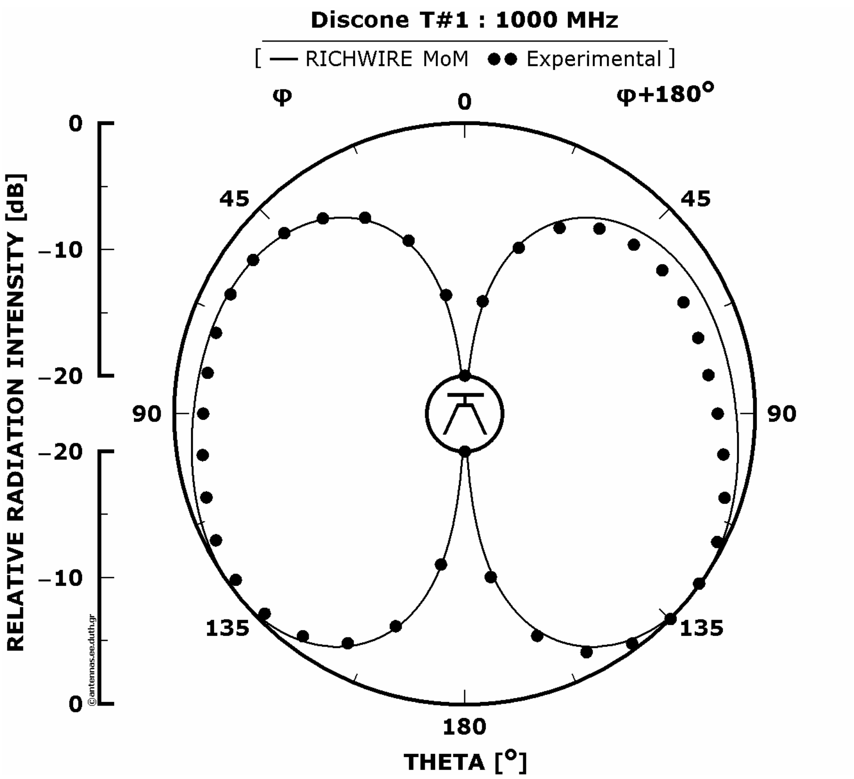
<u>Σχήμα 5.2.1.5</u>: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



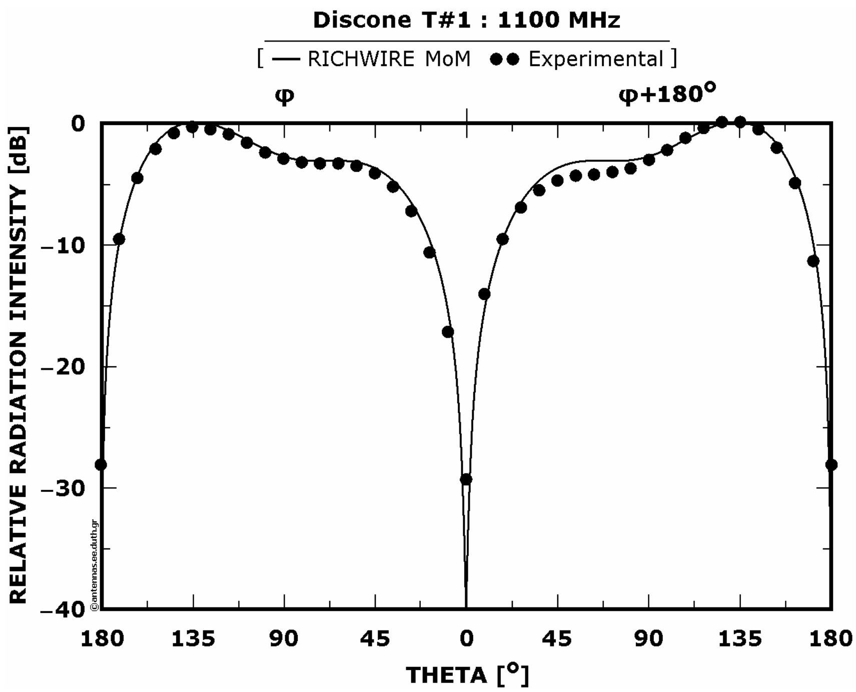


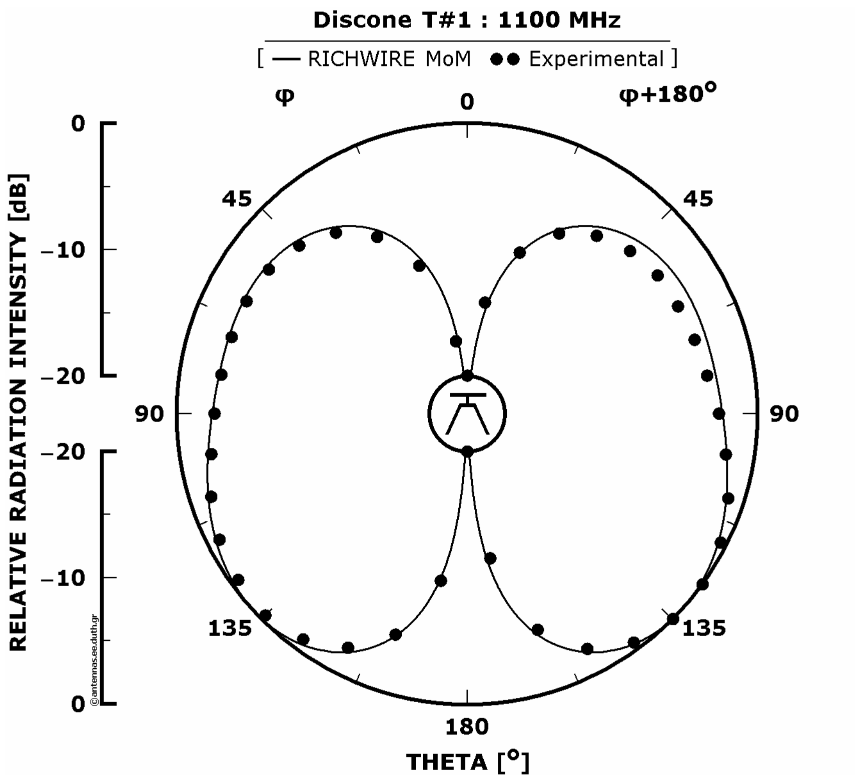
Σχήμα 5.2.1.6: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



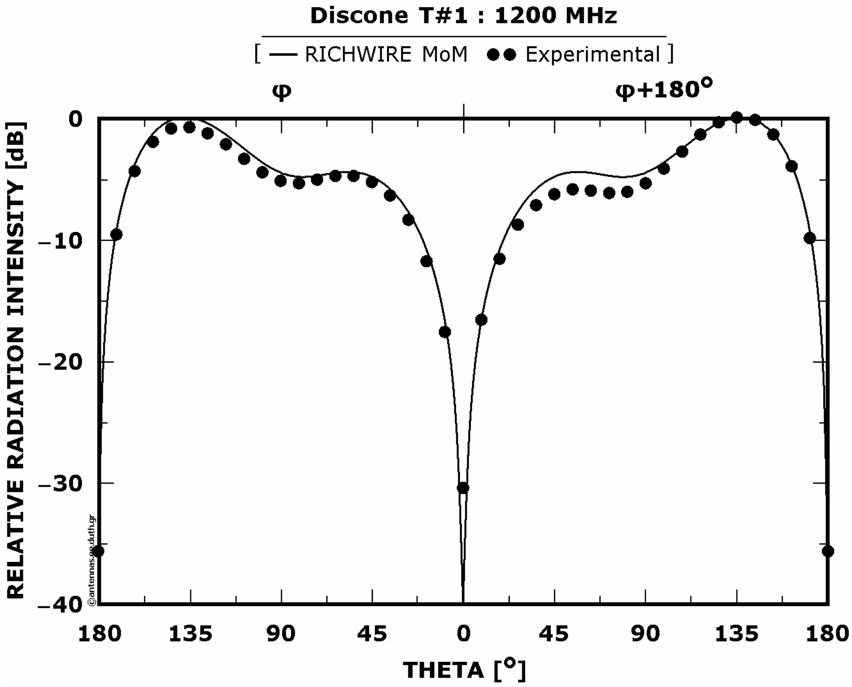


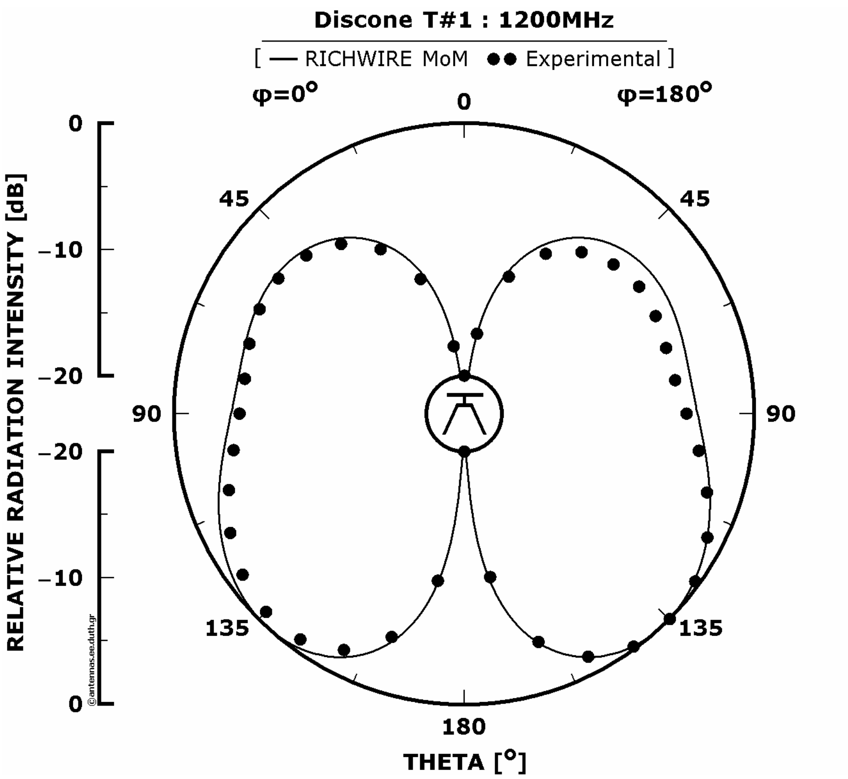
Σχήμα 5.2.1.7: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



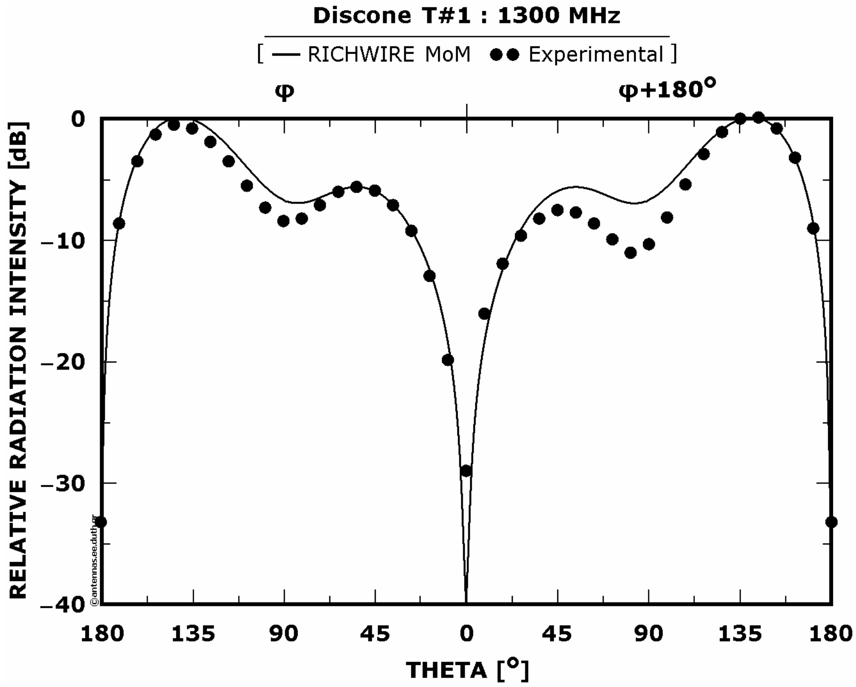


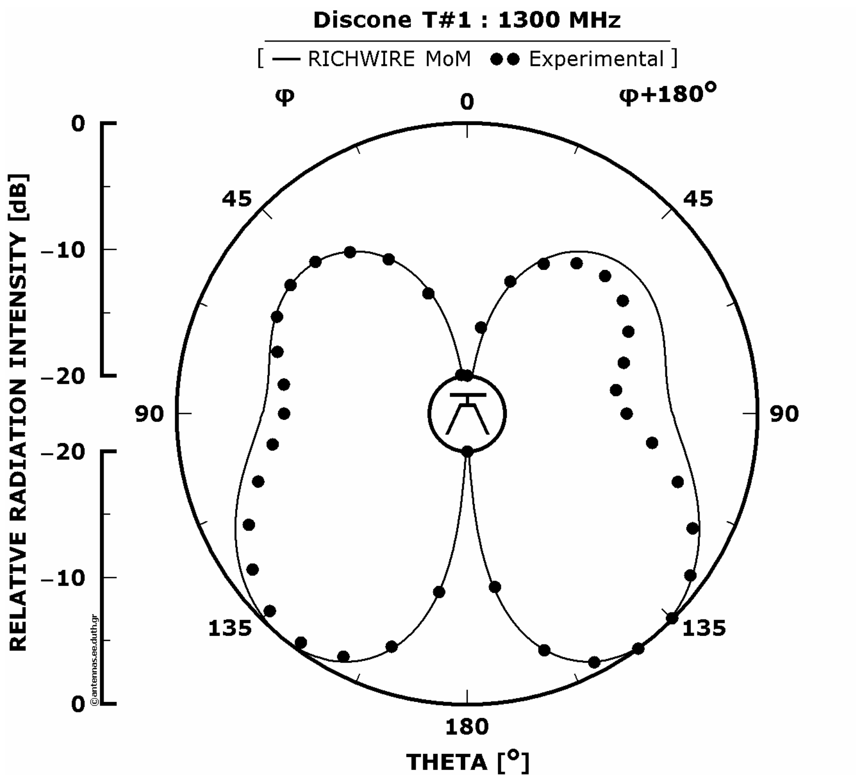
Σχήμα 5.2.1.8: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



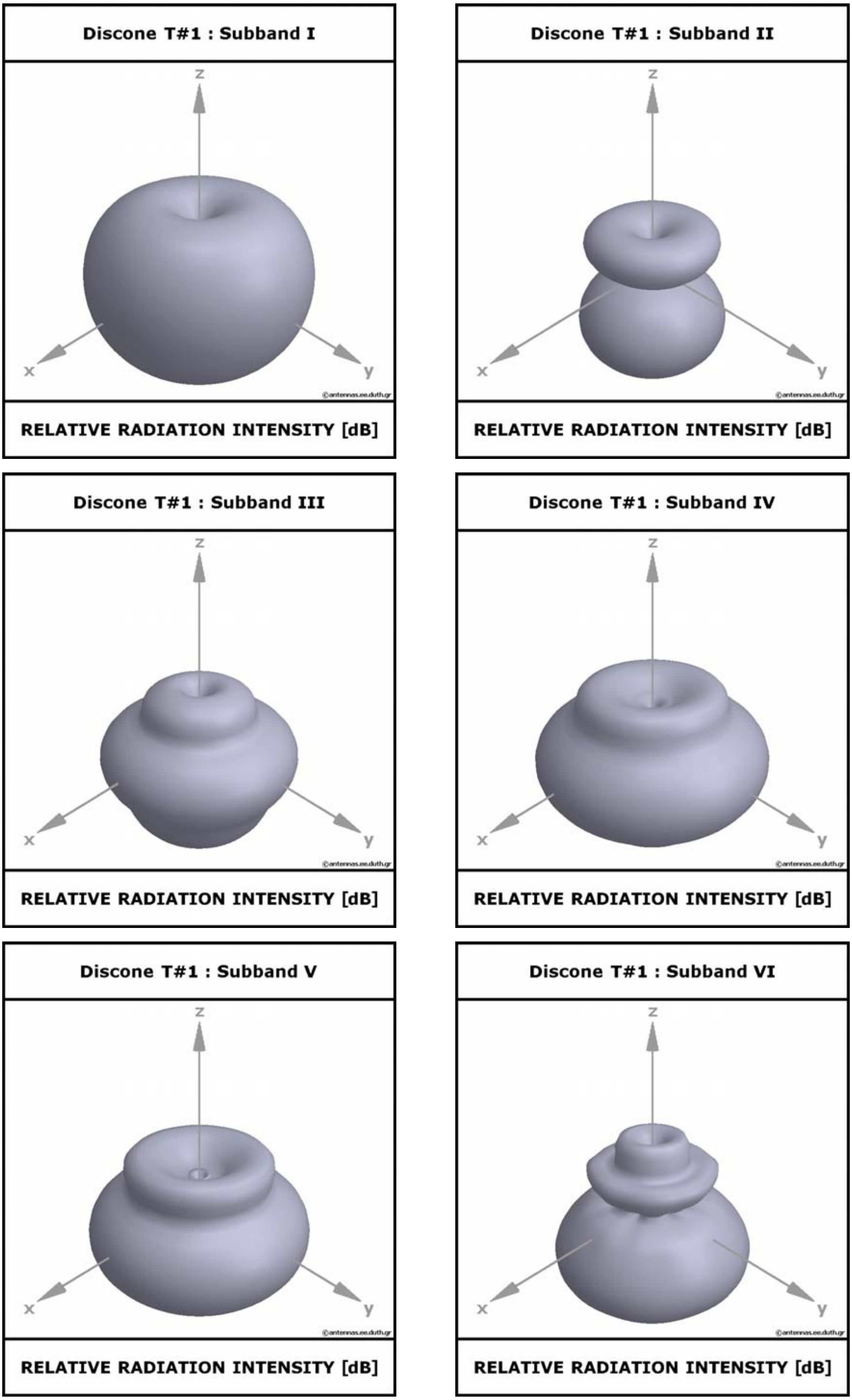


Σχήμα 5.2.1.9: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.





Σχήμα 5.2.1.10: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



Σχήμα 5.2.1.11: Σχετική ένταση ακτινοβολίας στην κεντρική συχνότητα κάθε υποζώνης.

5.2.2 : Discone T#2.

Τα χαρακτηριστικά της κεραίας δίνονται στον Πίνακα 5.2.2.1. Η κεραία αυτή αρχικώς σχεδιάστηκε με το μοντέλο προσομοίωσης Disc-Cone. Επειδή παρατηρήθηκε σχετική απόκλιση μεταξύ των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης και των μετρήσεων της αντίστασης εισόδου προχωρήσαμε στο δεύτερο μοντέλο Disc-Frustum Cone (δίσκος και κόλουρος κώνος) με το οποίο προσεγγίσαμε καλύτερα την γεωμετρία της κατασκευής και τα αποτελέσματα των μετρήσεων.

Πίνακας 5.2.2.1: Χαρακτηριστικά της κεραίας T#2.

Αριθμός ακτίνων δίσκου	8
Αριθμός ακτίνων κώνου	8
Διάμετρος δίσκου D [cm]	7.5
Απόσταση δίσκου-κώνου s [cm]	0.5
Απόστημα κώνου L [cm]	10.7
Γωνία κώνου α [°]	60
Περιοχή συχνοτήτων προσομοίωσης [MHz]	[400, 2500]
Περιοχή συχνοτήτων μέτρησης [MHz]	[400, 1300]
Περιοχή συχνοτήτων με VSWR $\leq$ 2 [MHz]	[990, 1500] $\wedge$ [2200, 2500]
Κατευθυντικότητα [dBi]	[1.66, 5.06]

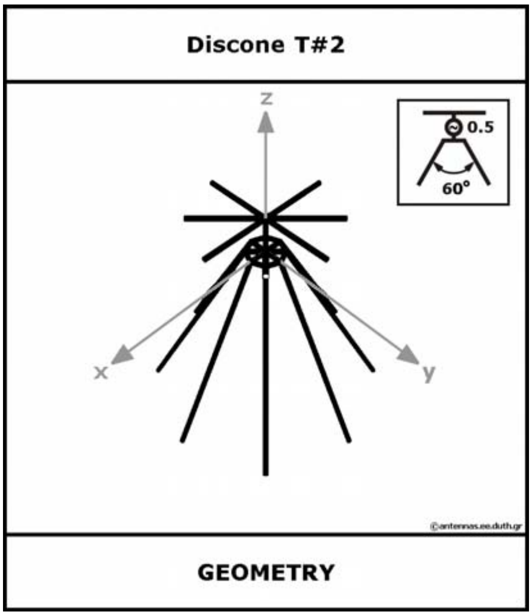
Στον Πίνακα 5.2.2.2 παραθέτουμε την ελάχιστη, τη μέγιστη και τη μέση απόκλιση μεταξύ των επεξεργασμένων αποτελεσμάτων των μετρήσεων και των δύο μοντέλων προσομοίωσης, Disc-Cone και Disc-Frustum Cone, για το πραγματικό μέρος, το φανταστικό μέρος και το μέτρο της αντίστασης εισόδου σε απόλυτες και σχετικές τιμές ως προς τις μετρήσεις. Τα σύμβολα και οι σχέσεις που χρησιμοποιούμε είναι :

R^m, X^m	Πραγματικό, φανταστικό μέρη αντίστασης εισόδου από τις μετρήσεις.
R^c, X^c	Πραγματικό, φανταστικό μέρη αντίστασης εισόδου από το μοντέλο της προσομοίωσης Disc-Cone (c).
R^f, X^f	Πραγματικό, φανταστικό μέρη αντίστασης εισόδου από το μοντέλο της προσομοίωσης Disc-Frustum Cone (f).
$\dot{Z}, \dot{Z}^c, \dot{Z}^f$	Μιγαδική αντίσταση εισόδου από μετρήσεις, προσομοίωση με μοντέλο Disc-Cone, προσομοίωση με μοντέλο Disc-Frustum Cone.
$\frac{1}{N}\cdot\sum_{\nu=1}^{N}\lvert u_\nu^m - u_\nu^t\rvert$	Μέση απόκλιση, όπου το u^m αντιστοιχεί σε μέγεθος από μετρήσεις και το u^t αντιστοιχεί σε μέγεθος από προσομοίωση.
$\frac{1}{N}\cdot\sum_{\nu=1}^{N}\frac{\lvert u_\nu^m - u_\nu^t\rvert}{\lvert u_\nu^m\rvert}$	Μέση σχετική απόκλιση ως ανωτέρω.
δ	Δείκτης προσέγγισης που ορίζεται ως ο λόγος των μέσων αποκλίσεων: f προς c. Μικρότερες τιμές δείχνουν μεγαλύτερη προσέγγιση μεταξύ του μοντέλου f και των μετρήσεων.

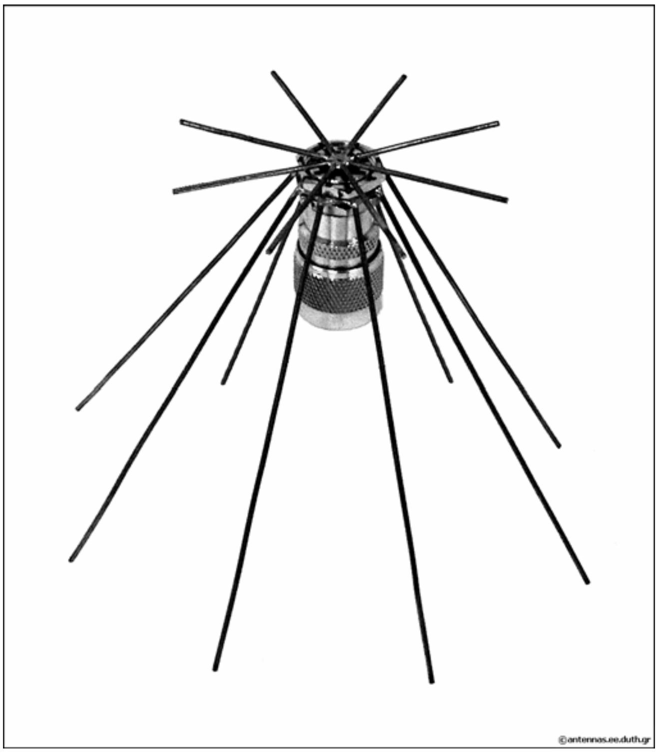
Πίνακας 5.2.2.2: Απόκλιση αποτελεσμάτων επεξεργασμένων μετρήσεων και προσομοίωσης.

		Ελάχιστη	Μέγιστη	Μέση	δ
$\lvert R^m - R^c\rvert$	[Ω]	0.1	61.7	21.5	0.07
$\lvert R^m - R^f\rvert$	[Ω]	0.0	3.8	1.6	
$\lvert X^m - X^c\rvert$	[Ω]	0.2	37.3	20.5	0.11
$\lvert X^m - X^f\rvert$	[Ω]	0.0	5.1	2.3	
$\frac{\lvert\dot{Z} - \dot{Z}^c\rvert}{\lvert\dot{Z}\rvert}$		2.7	67.8	30.6	0.10
$\frac{\lvert\dot{Z} - \dot{Z}^f\rvert}{\lvert\dot{Z}\rvert}$		0.2	5.8	3.1	
$\frac{\lvert\dot{Z} - \dot{Z}^c\rvert}{\lvert\dot{Z}\rvert}\times 100$	[%]	3	164	80	0.09
$\frac{\lvert\dot{Z} - \dot{Z}^f\rvert}{\lvert\dot{Z}\rvert}\times 100$	[%]	0	16	7	

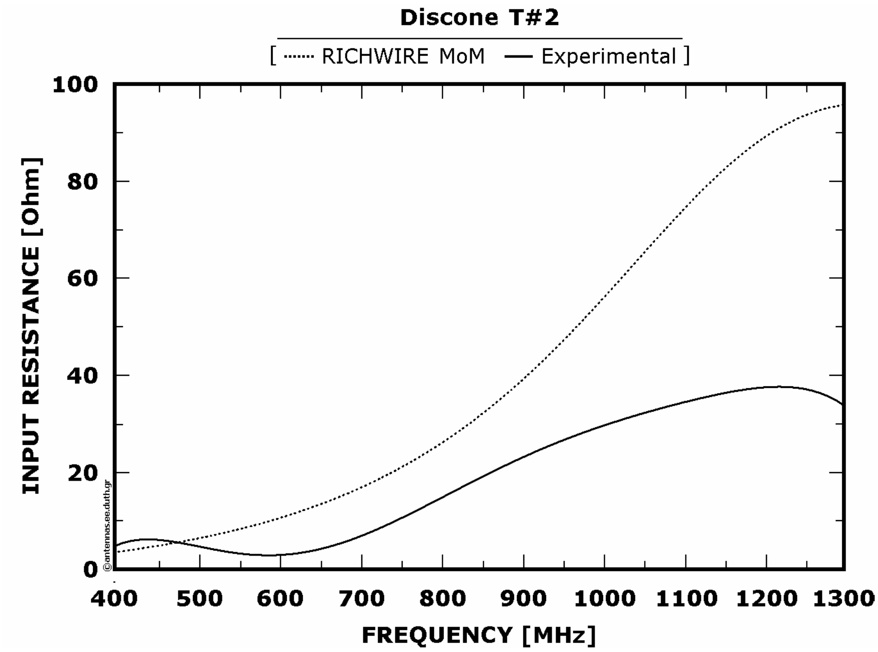
Από τον πίνακα αυτό είναι φανερό γιατί επιλέξαμε ως καταλληλότερο για την αντίσταση εισόδου το μοντέλο προσομοίωσης Disc-Frustum Cone, το οποίο όπως θα δούμε από τα παρακάτω σχήματα, δίνει σχεδόν απόλυτη συμφωνία για το διάγραμμα ακτινοβολίας. Τέλος, παραθέτουμε στα Σχήματα 5.2.2.3 και 5.2.2.4 την αντίσταση εισόδου με την προσομοίωση του μοντέλου Disc-Cone και στα Σχήματα 5.2.2.5 και 5.2.2.6 με την προσομοίωση του ακριβέστερου μοντέλου Disc-Frustum Cone.



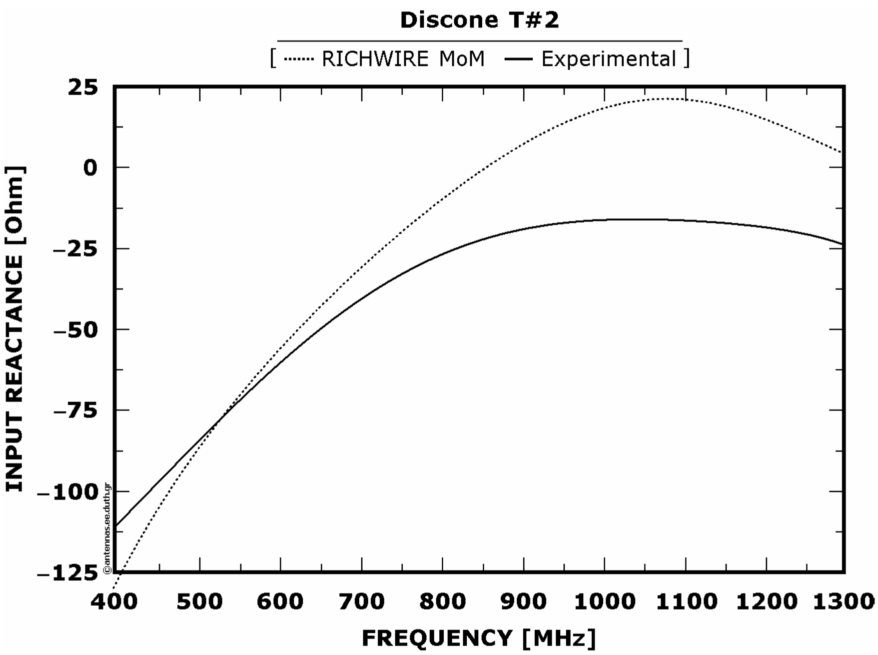
Σχήμα 5.2.2.1: Γεωμετρία της Discone T#2.



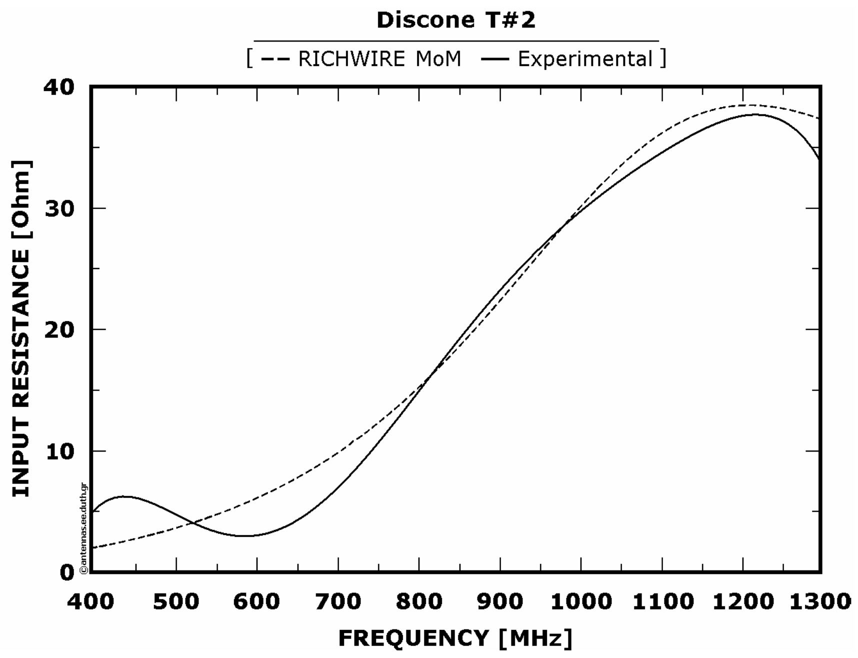
Σχήμα 5.2.2.2: Η Discone T#2.



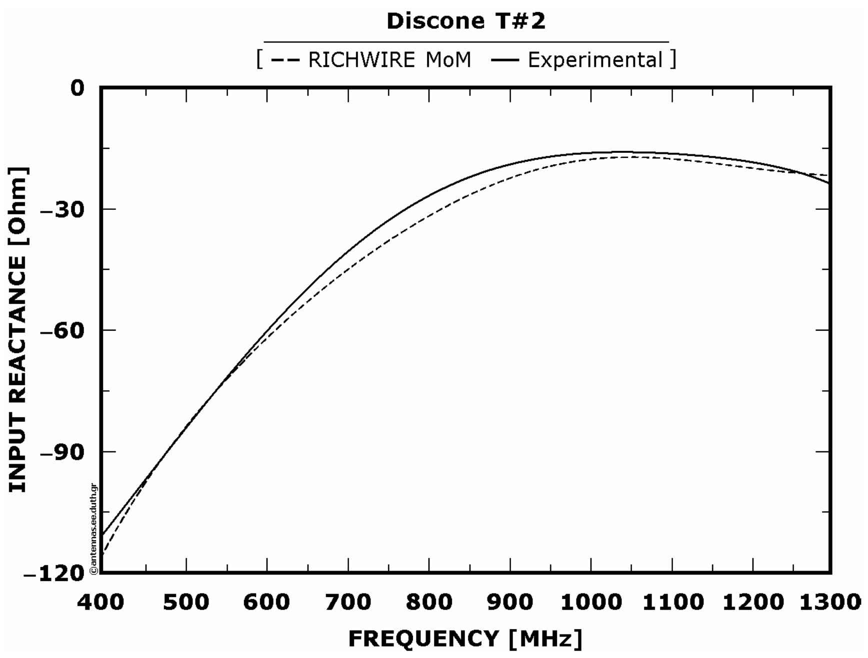
Σχήμα 5.2.2.3: Πραγματικό μέρος της σύνθετης αντίστασης εισόδου.



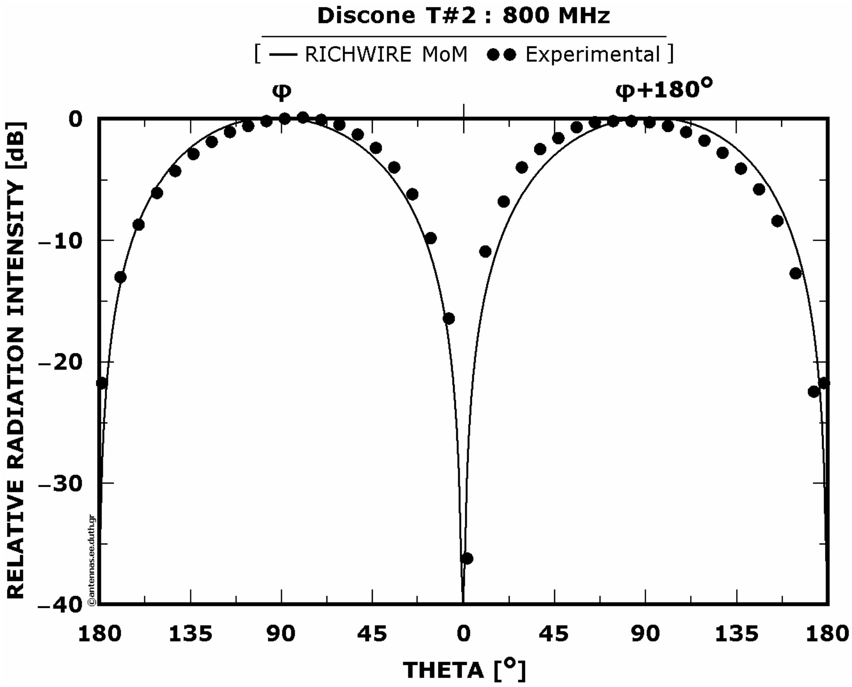
Σχήμα 5.2.2.4: Φανταστικό μέρος της σύνθετης αντίστασης εισόδου.

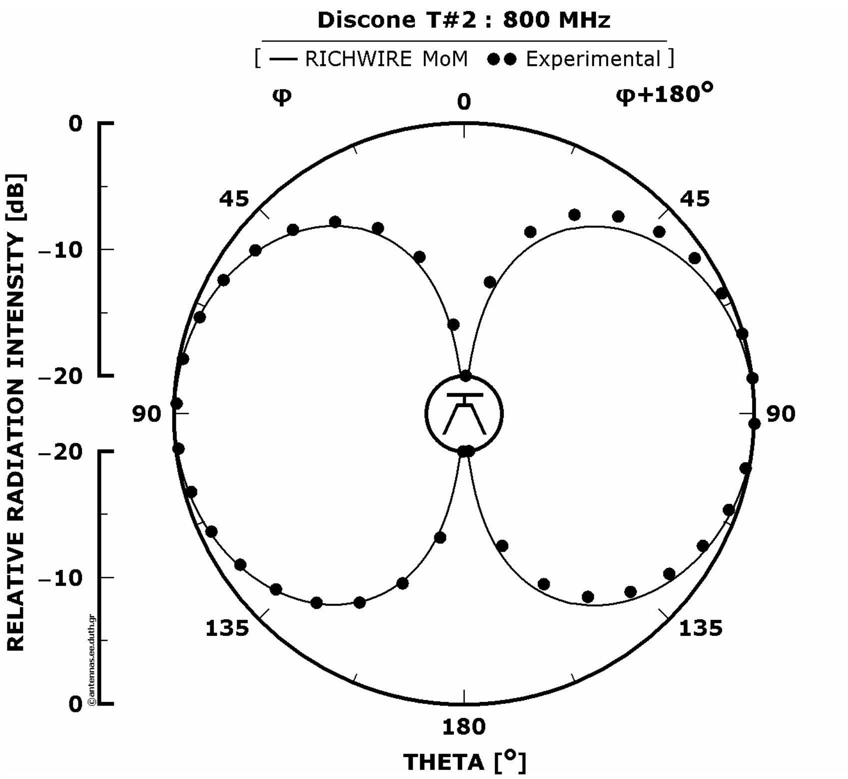


Σχήμα 5.2.2.5: Πραγματικό μέρος της σύνθετης αντίστασης εισόδου.

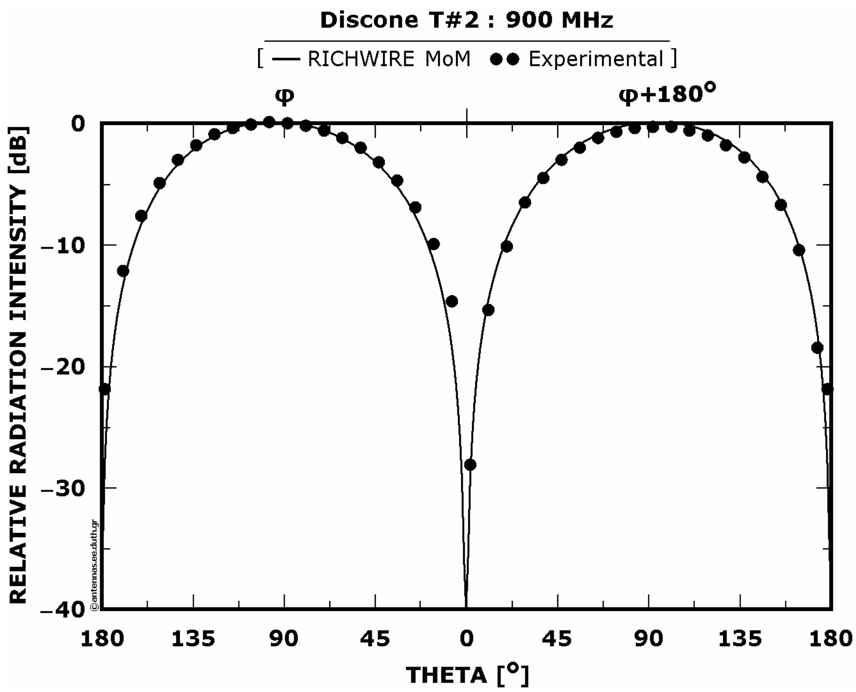


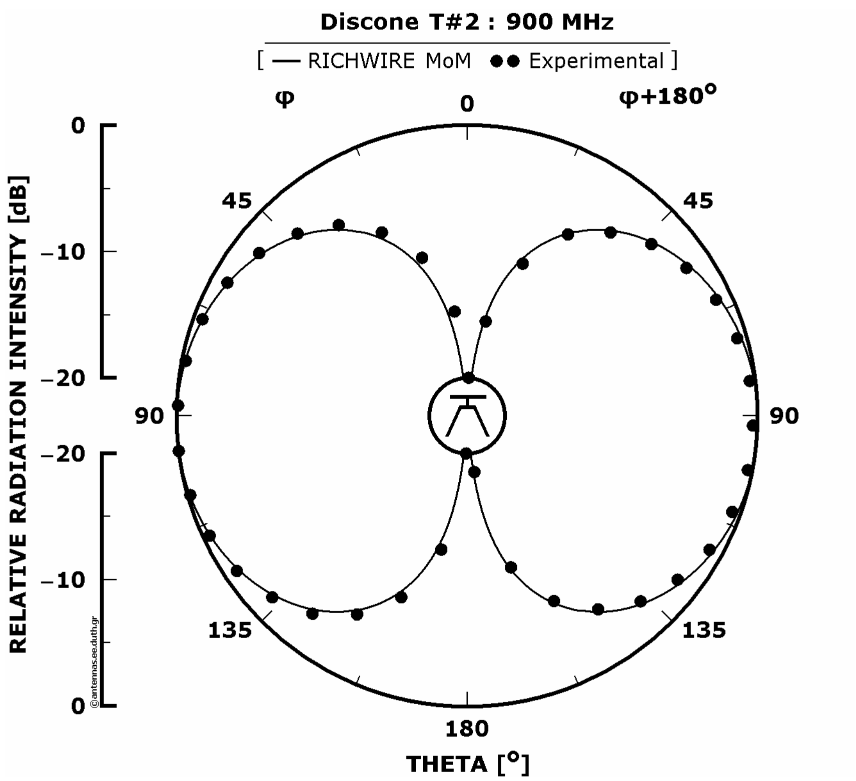
Σχήμα 5.2.2.6: Φανταστικό μέρος της σύνθετης αντίστασης εισόδου.



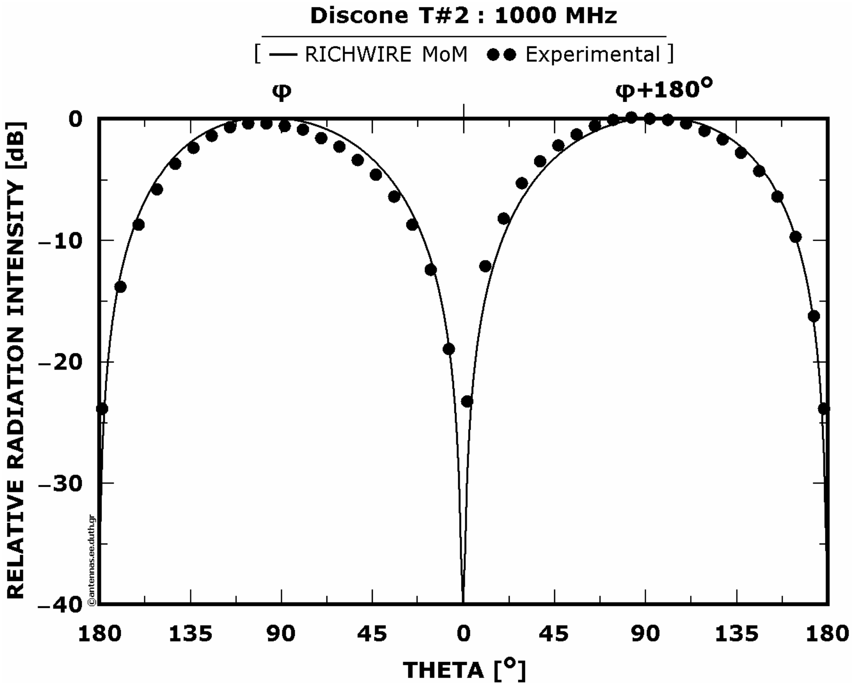


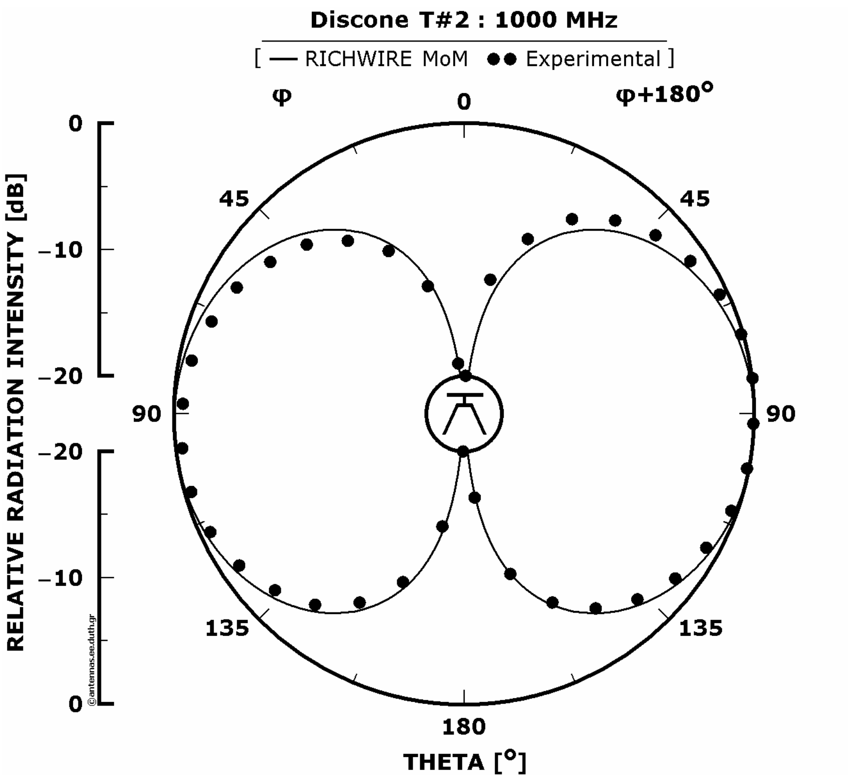
Σχήμα 5.2.2.7: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



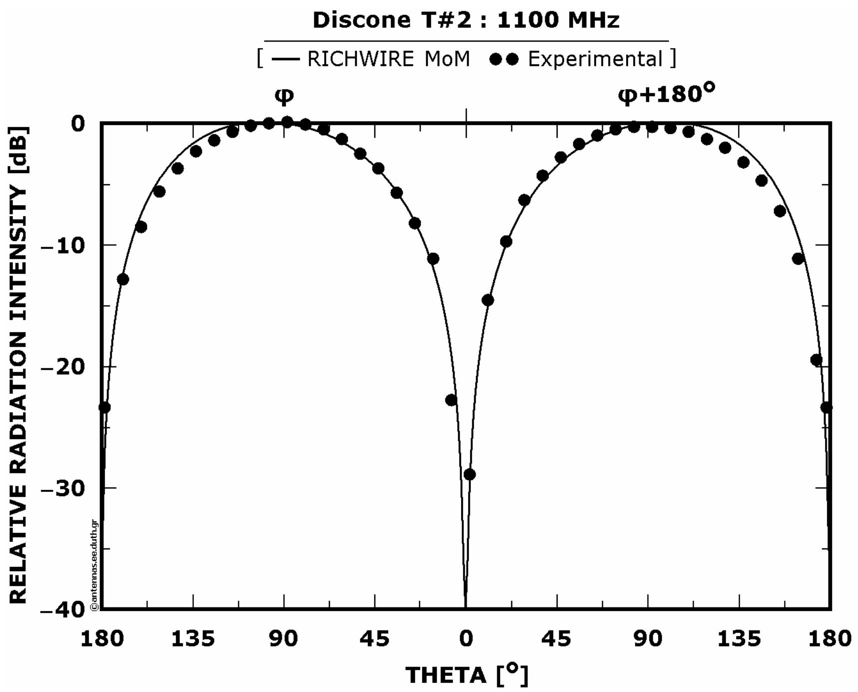


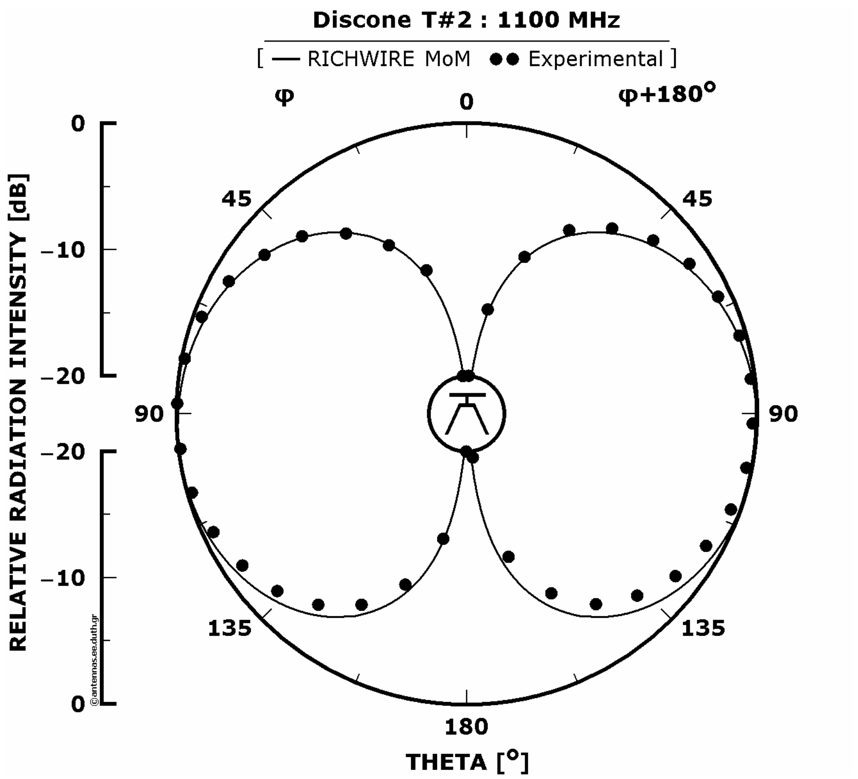
Σχήμα 5.2.2.8: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



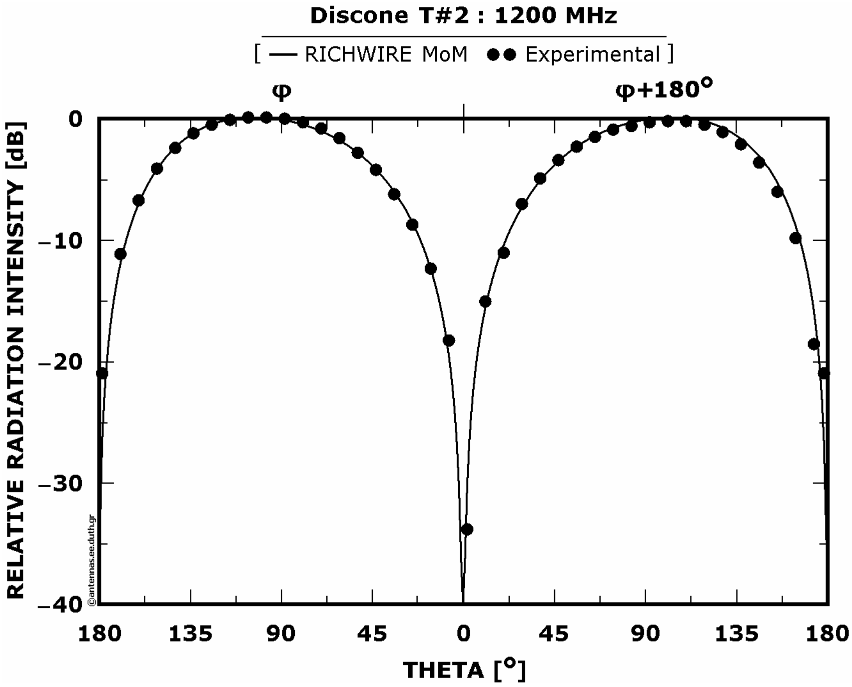


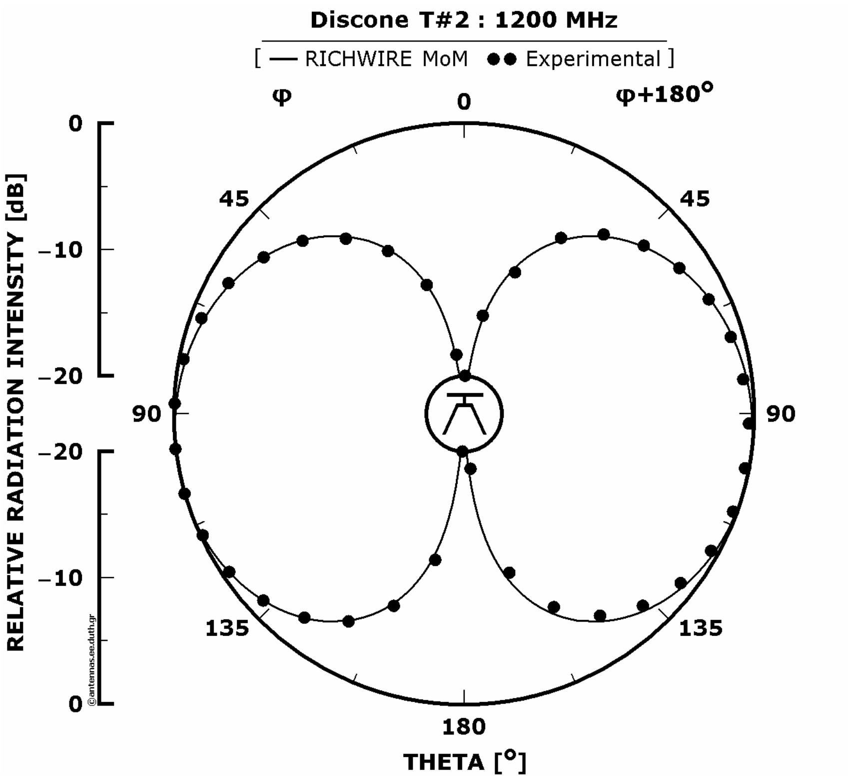
<u>Σχήμα 5.2.2.9</u>: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



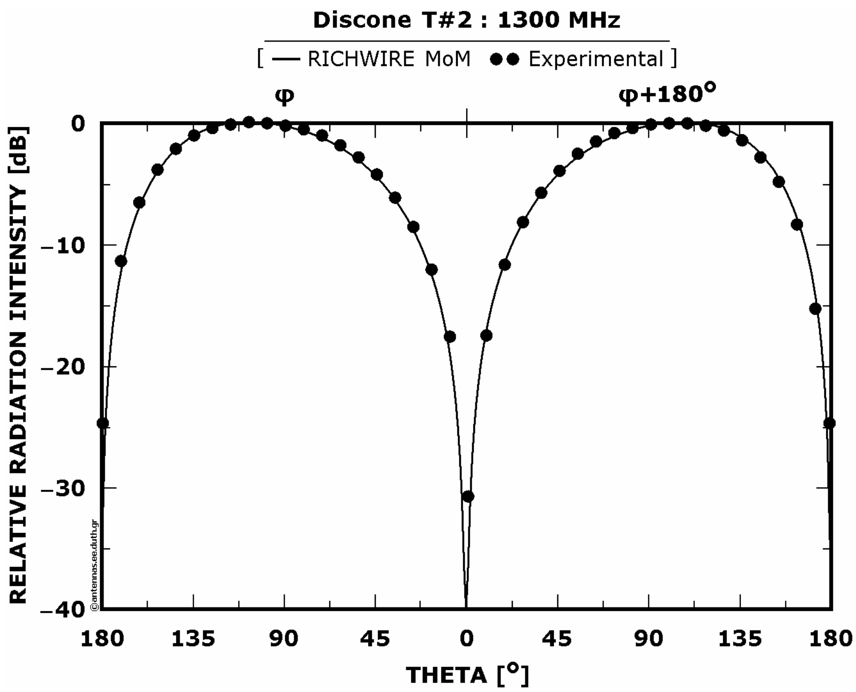


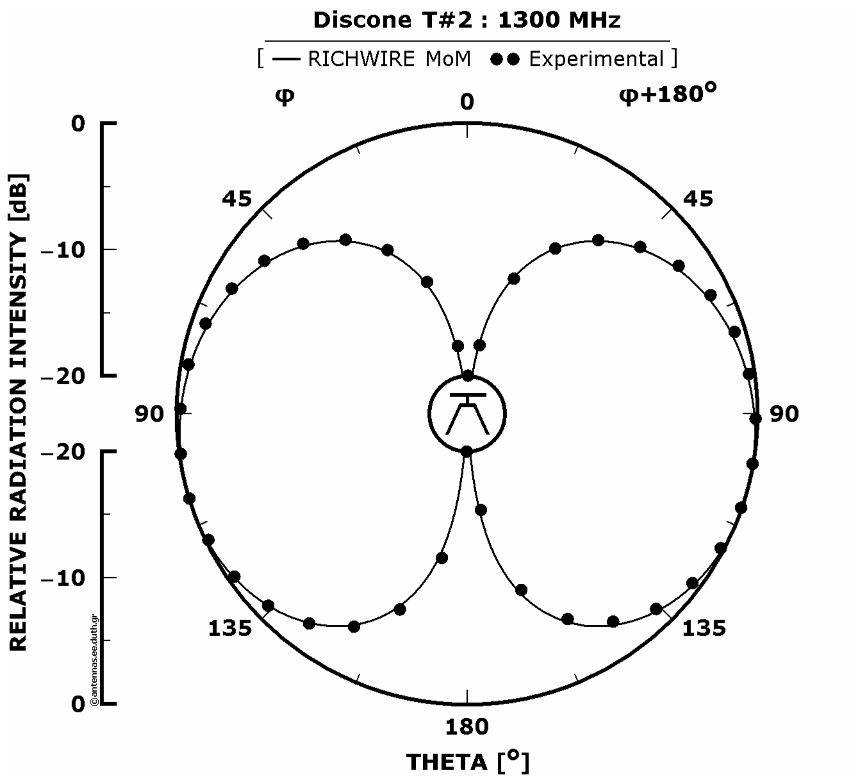
Σχήμα 5.2.2.10: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



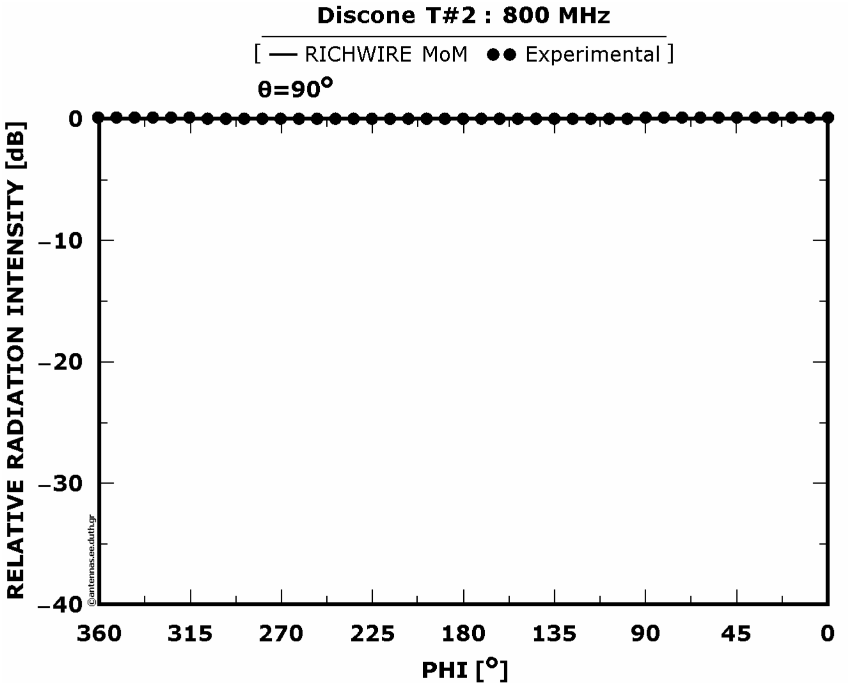


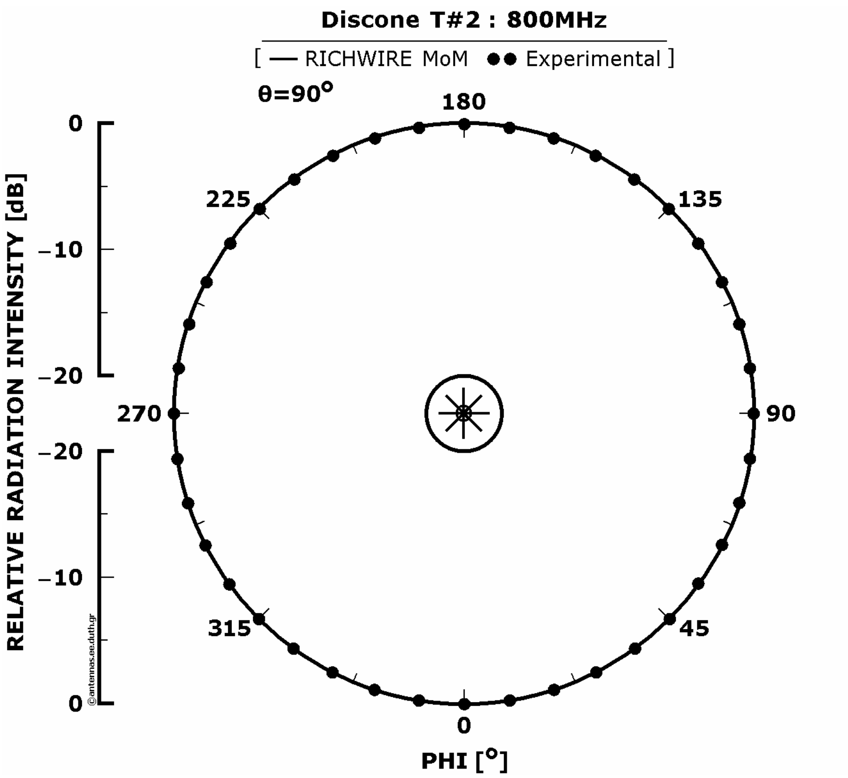
<u>Σχήμα 5.2.2.11</u>: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



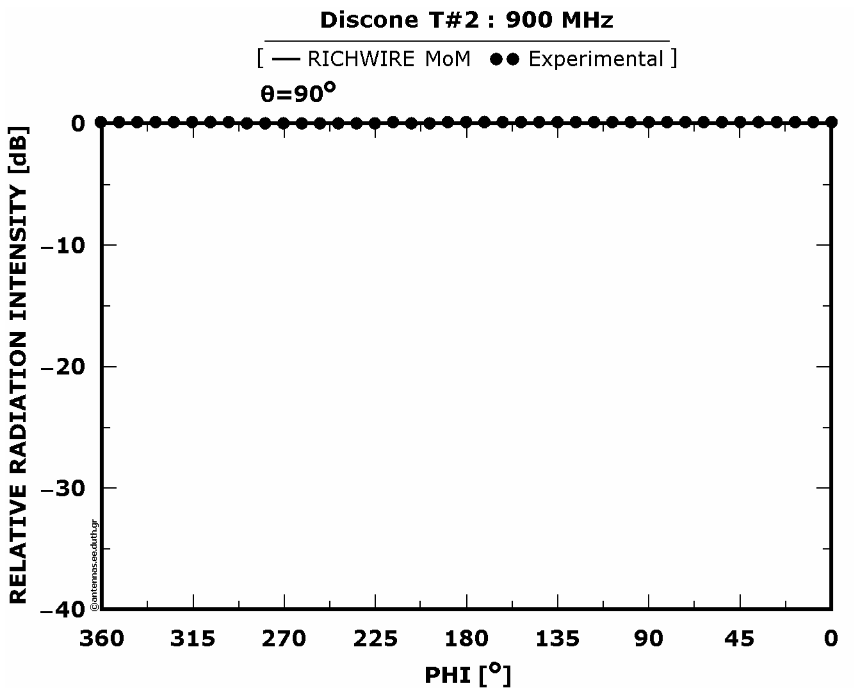


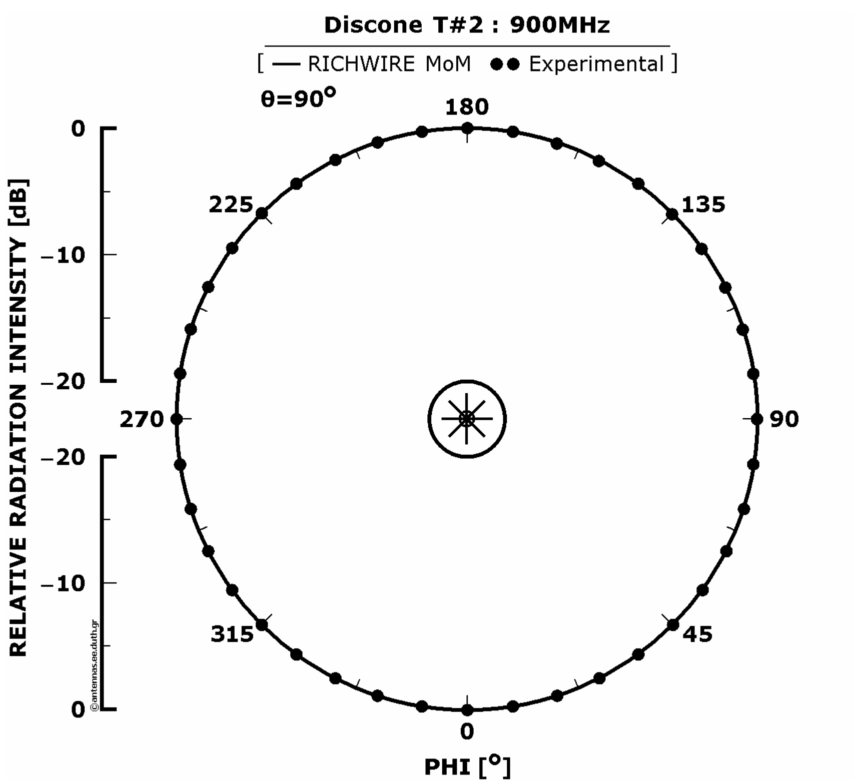
Σχήμα 5.2.2.12: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



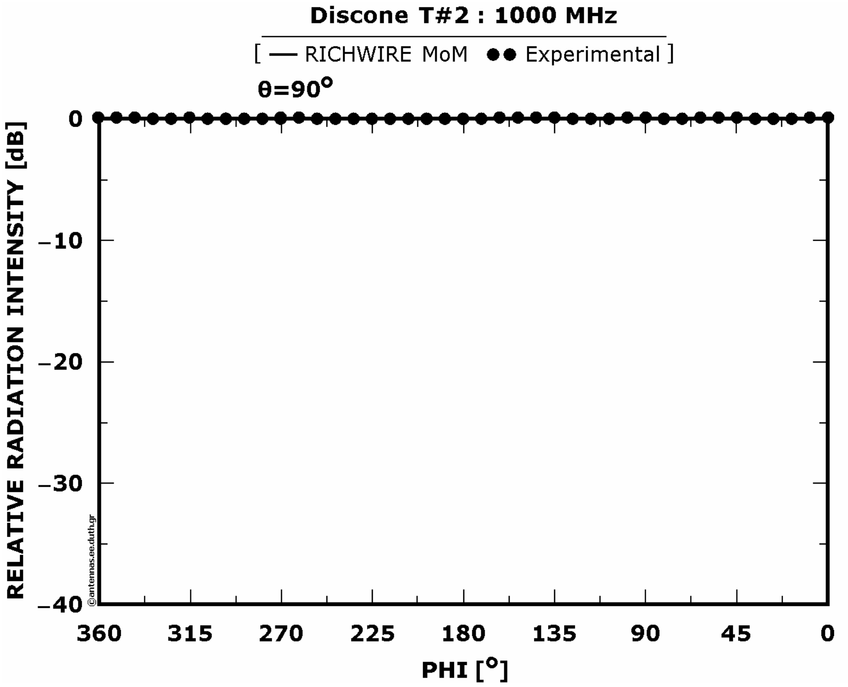


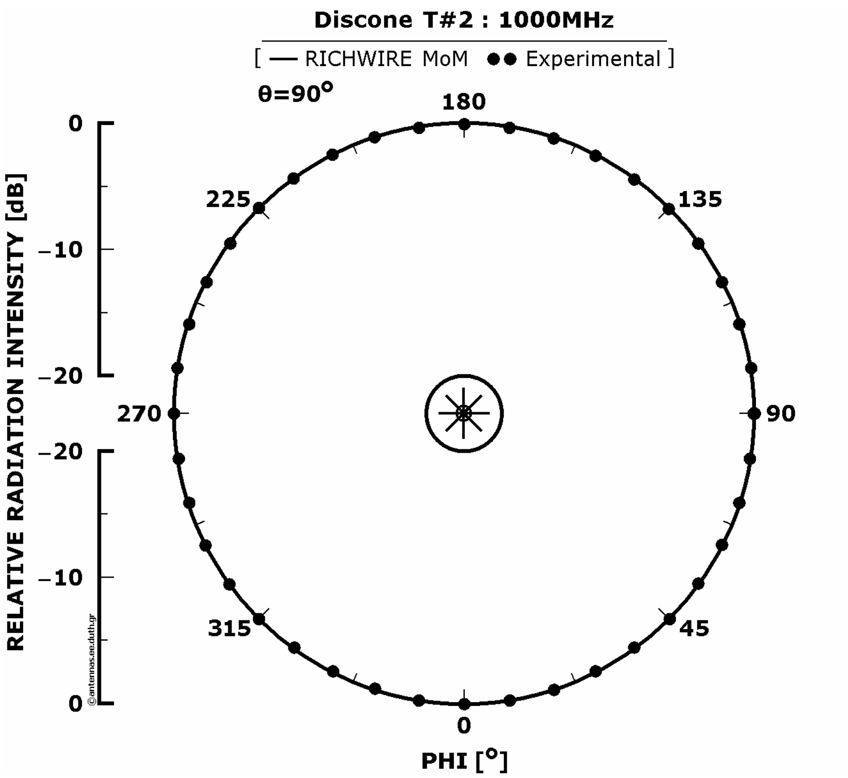
<u>Σχήμα 5.2.2.13</u>: Σχετική ένταση ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο.



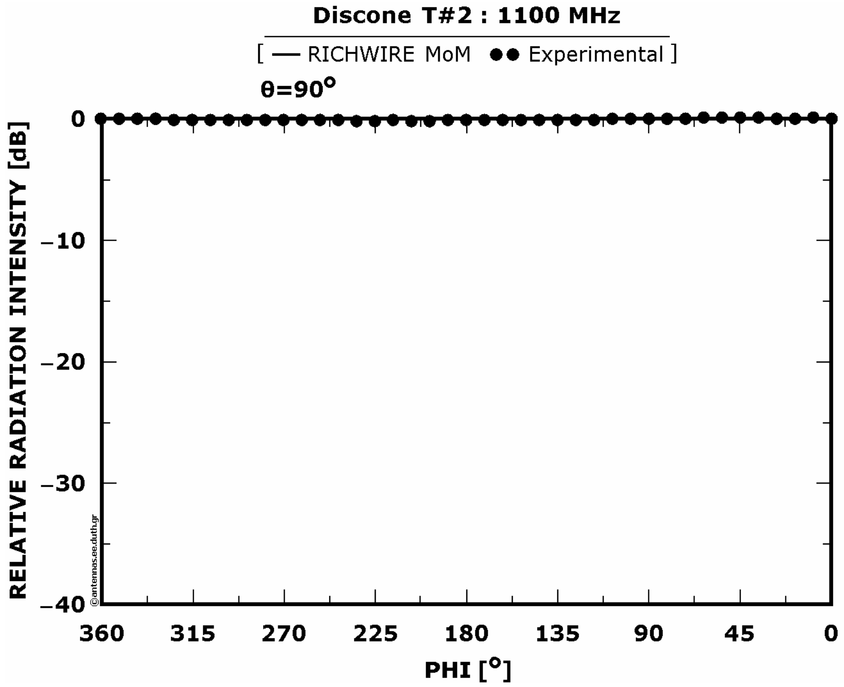


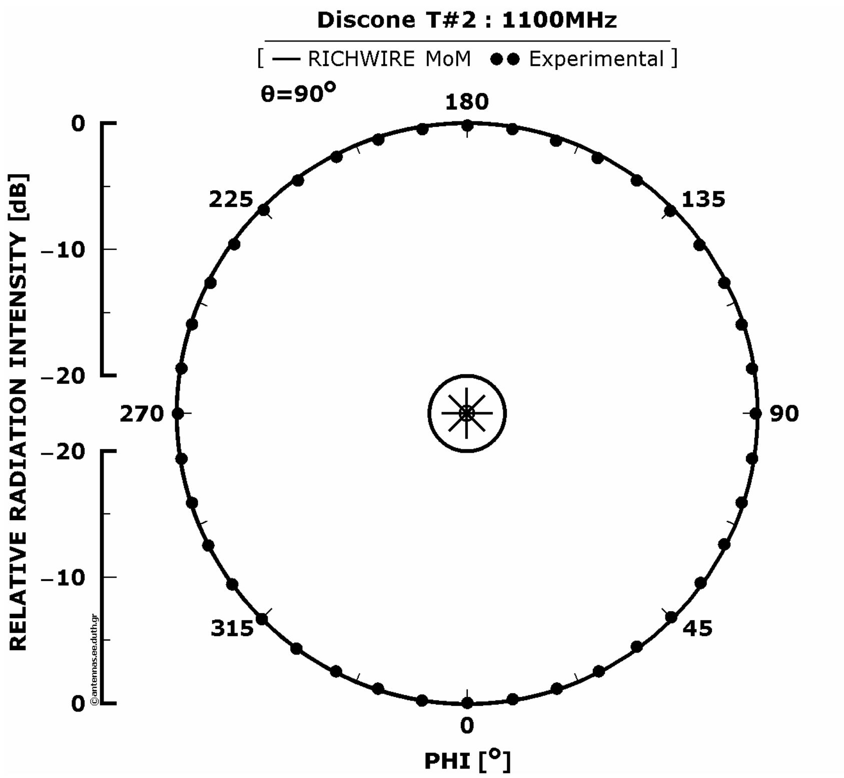
Σχήμα 5.2.2.14: Σχετική ένταση ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο.



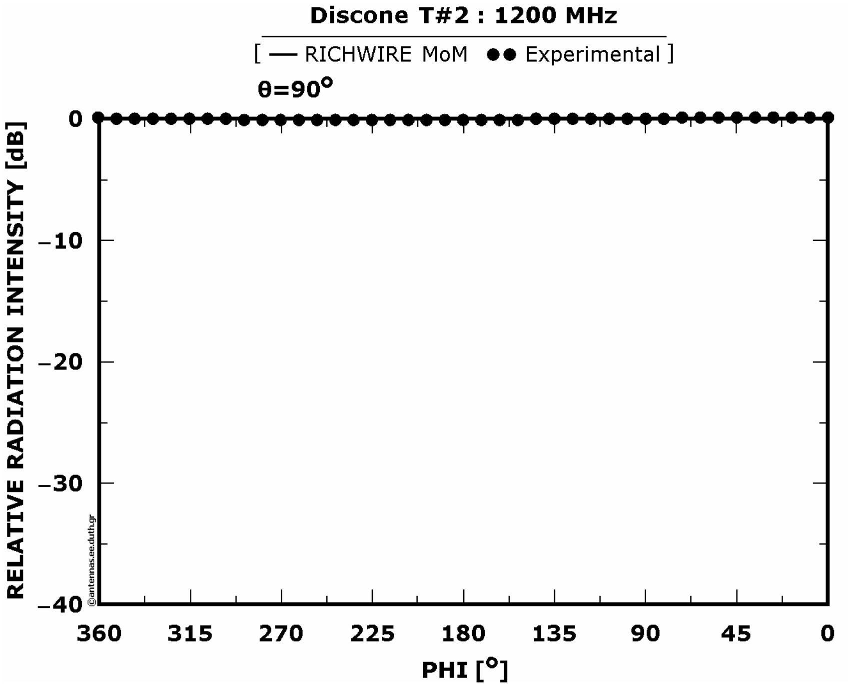


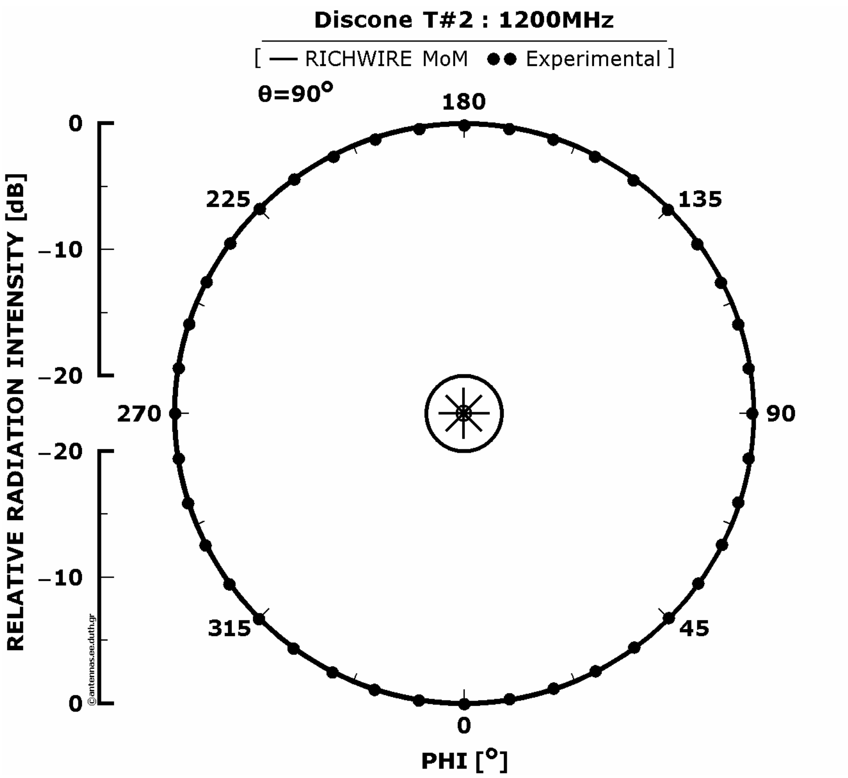
Σχήμα 5.2.2.15: Σχετική ένταση ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο.



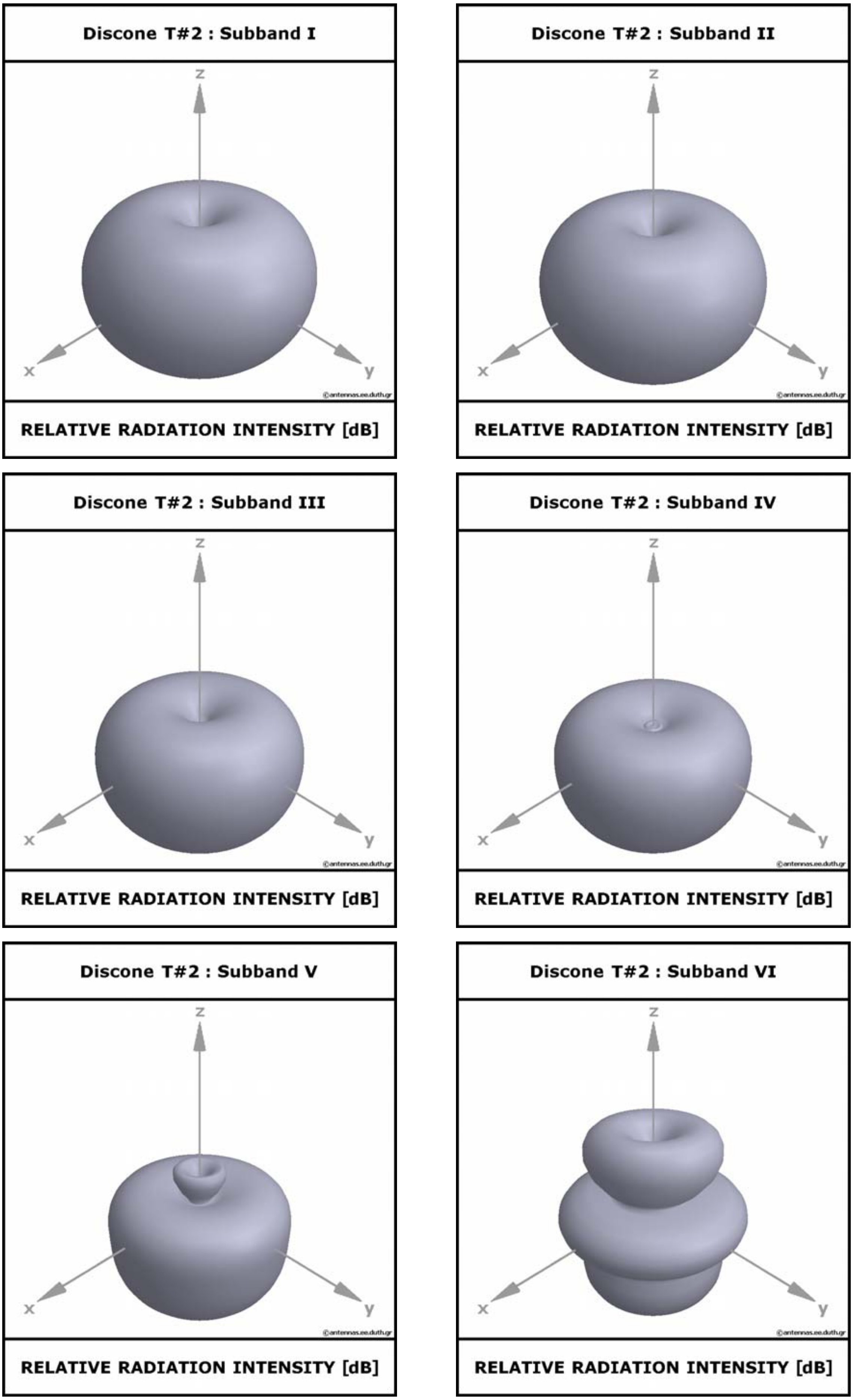


Σχήμα 5.2.2.16: Σχετική ένταση ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο.





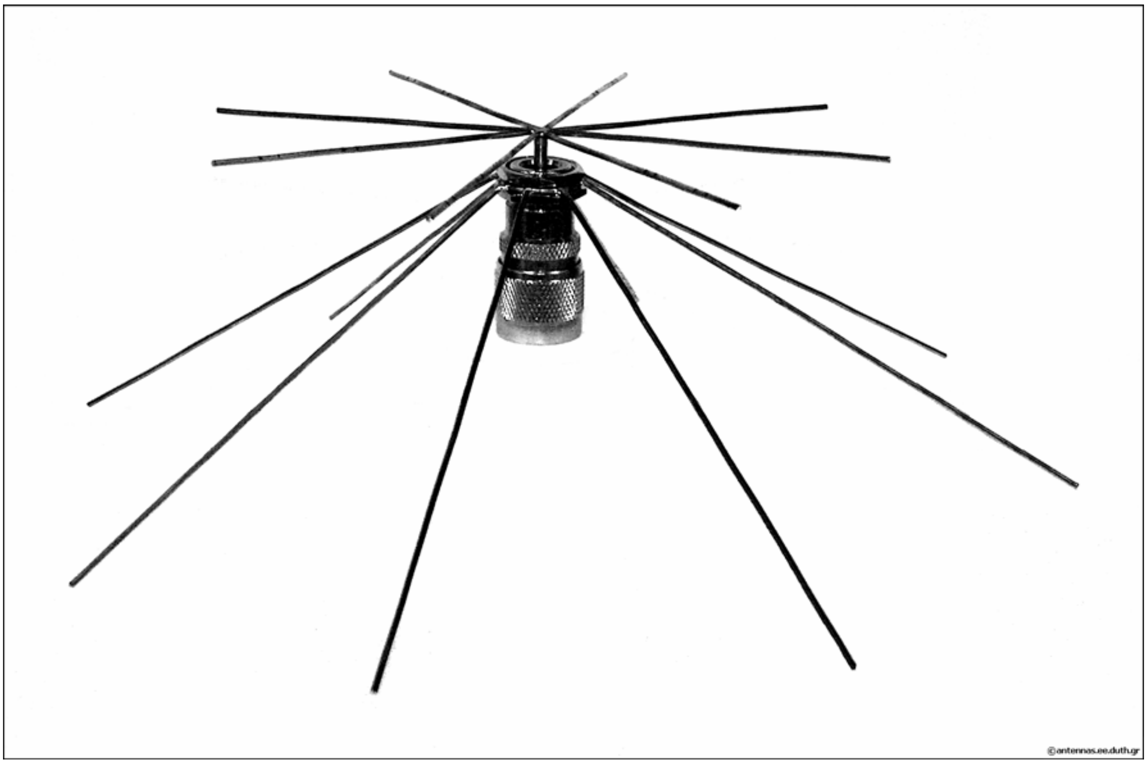
Σχήμα 5.2.2.17: Σχετική ένταση ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο.



Σχήμα 5.2.2.18: Σχετική ένταση ακτινοβολίας στην κεντρική συχνότητα κάθε υποζώνης.

5.3 : Κατασκευές Ομάδας Α.

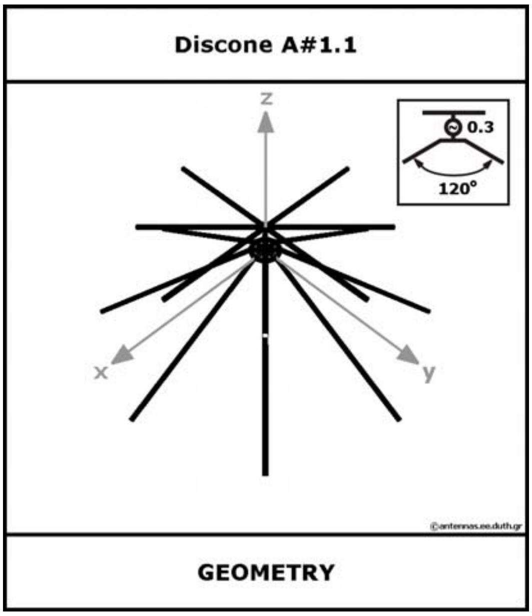
Οι κεραίες Skeleton Discone της ομάδας αυτής κατατάσσονται σε δύο υποομάδες με κύριο χαρακτηριστικό της κάθε υποομάδας το μήκος της διαμέτρου του δίσκου. Έτσι, στην πρώτη υποομάδα η διάμετρος του δίσκου είναι 16.2cm ενώ στην δεύτερη είναι 15.2cm. Στο Σχήμα 5.3.1 φαίνεται μια Skeleton Discone της ομάδας Α.



Σχήμα 5.3.1: Discone ομάδας Α.

5.3.1 : Discone A#1.1.

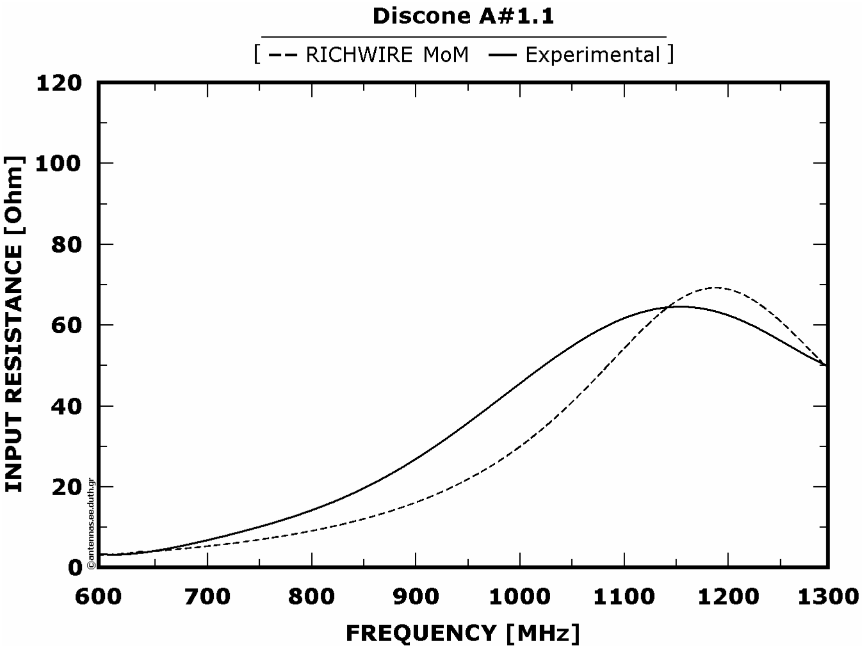
Τα χαρακτηριστικά της κεραίας δίνονται στον Πίνακα 5.3.1.1.



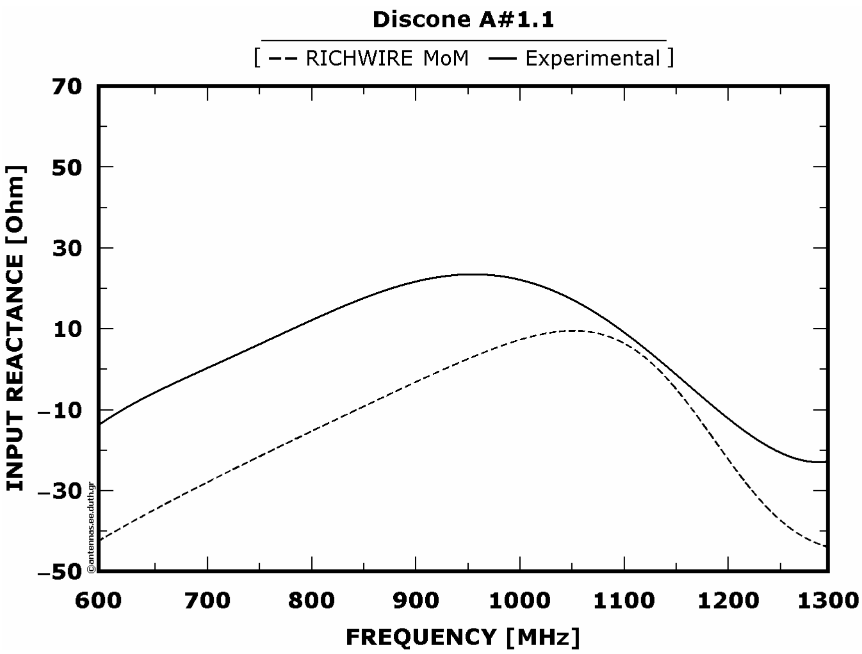
Σχήμα 5.3.1.1: Γεωμετρία της Discone A#1.1.

Πίνακας 5.3.1.1: Χαρακτηριστικά της κεραίας A#1.1.

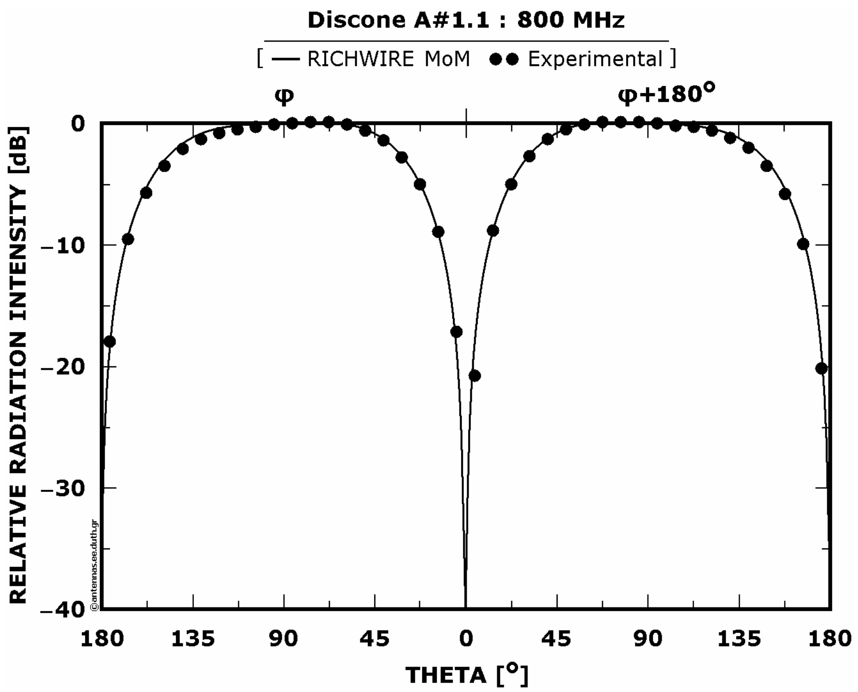
Αριθμός ακτίνων δίσκου	8
Αριθμός ακτίνων κώνου	8
Διάμετρος δίσκου D [cm]	16.2
Απόσταση δίσκου-κώνου s [cm]	0.3
Απόστημα κώνου L [cm]	12.5
Γωνία κώνου α [°]	120
Περιοχή συχνοτήτων προσομοίωσης [MHz]	[600, 2500]
Περιοχή συχνοτήτων μέτρησης [MHz]	[600, 1300]
Περιοχή συχνοτήτων με VSWR ≤ 2 [MHz]	[970, 1250] ∧ [1770, 2050]
Κατευθυντικότητα [dBi]	[0.93, 5.00]

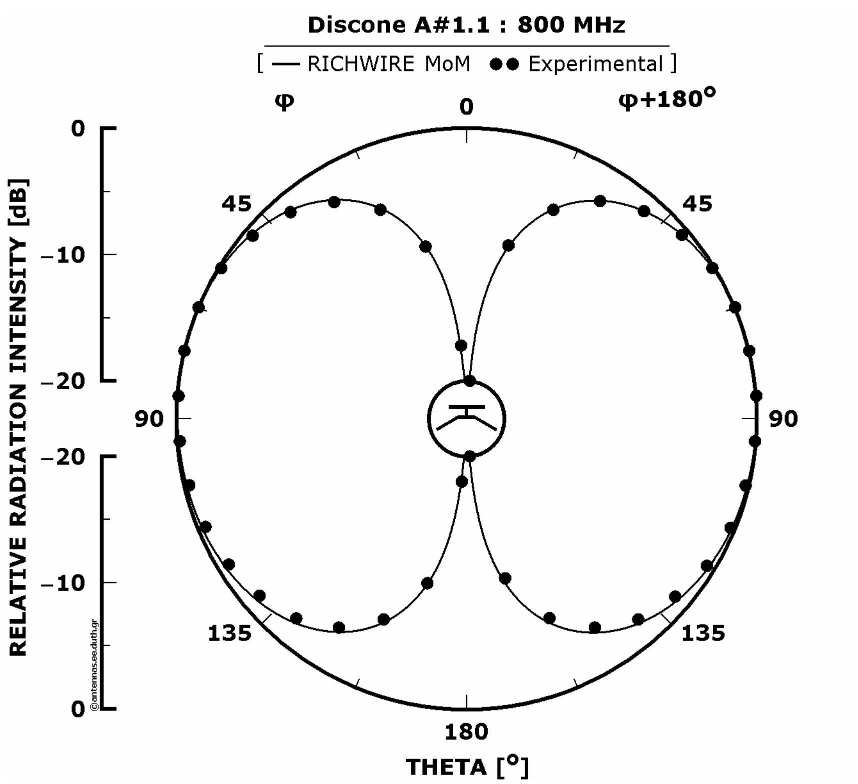


Σχήμα 5.3.1.2: Πραγματικό μέρος της σύνθετης αντίστασης εισόδου.

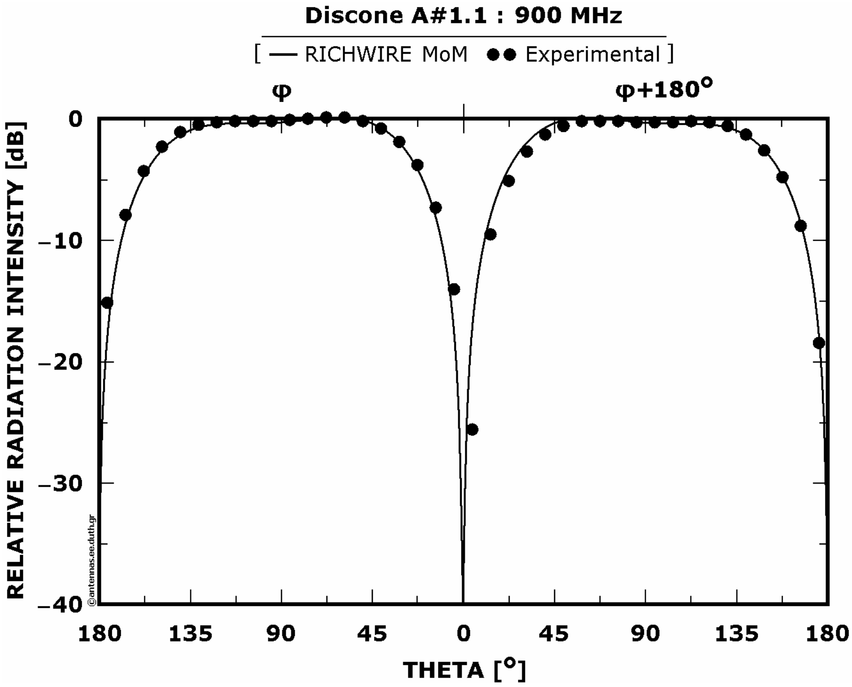


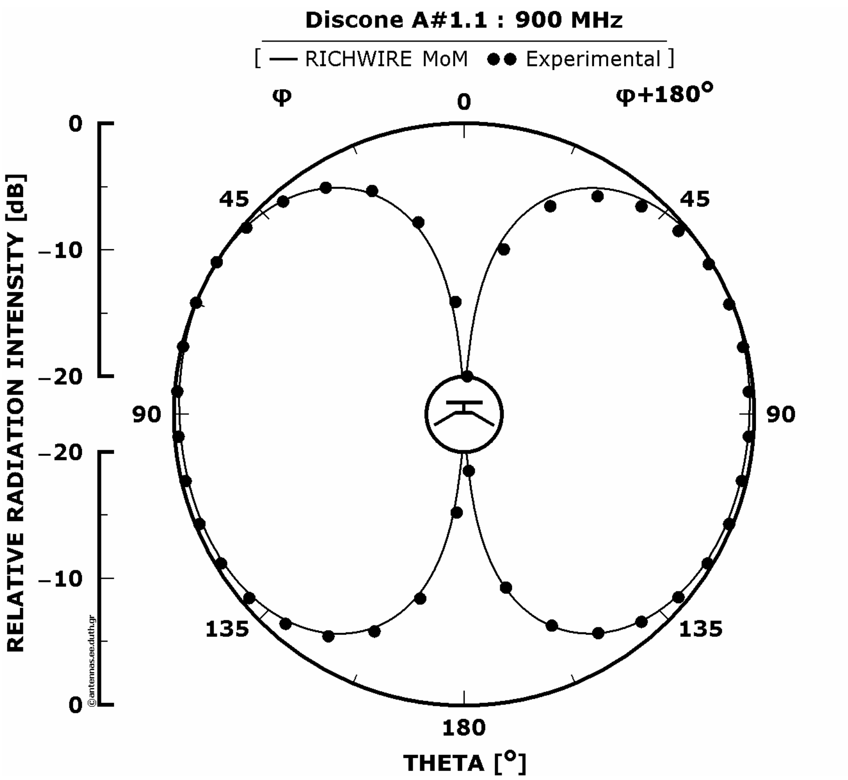
Σχήμα 5.3.1.3: Φανταστικό μέρος της σύνθετης αντίστασης εισόδου.



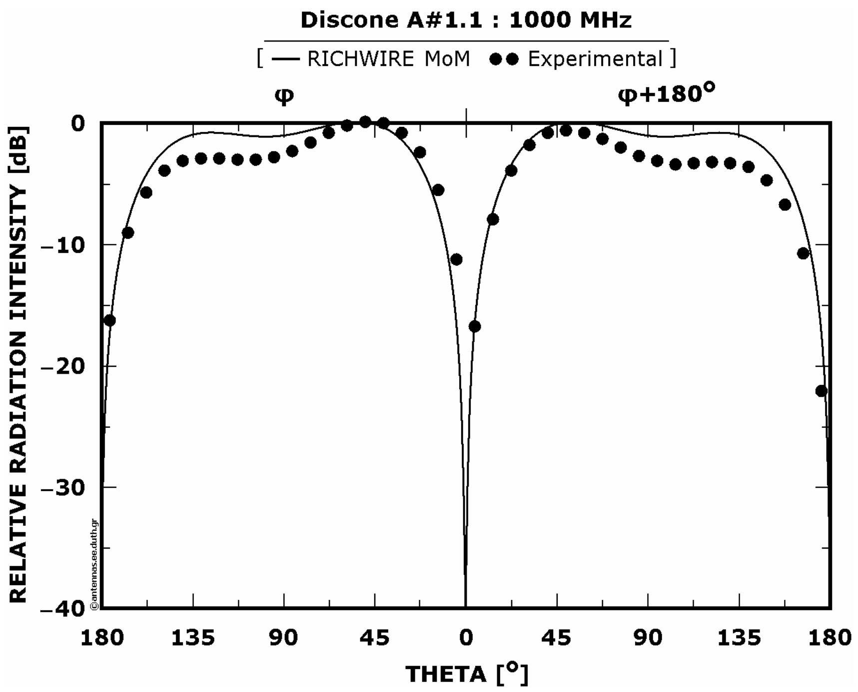


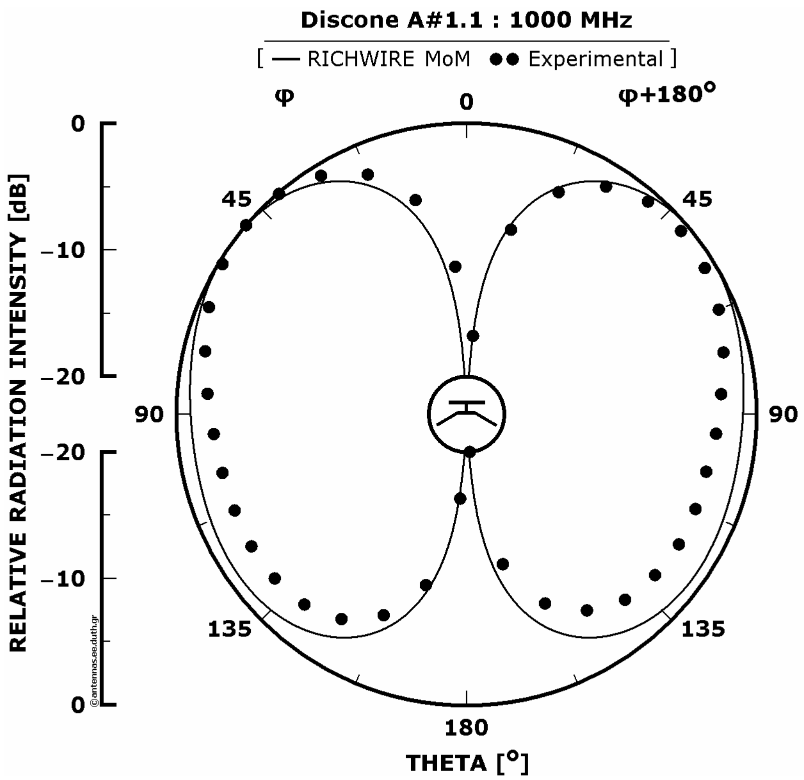
Σχήμα 5.3.1.4: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



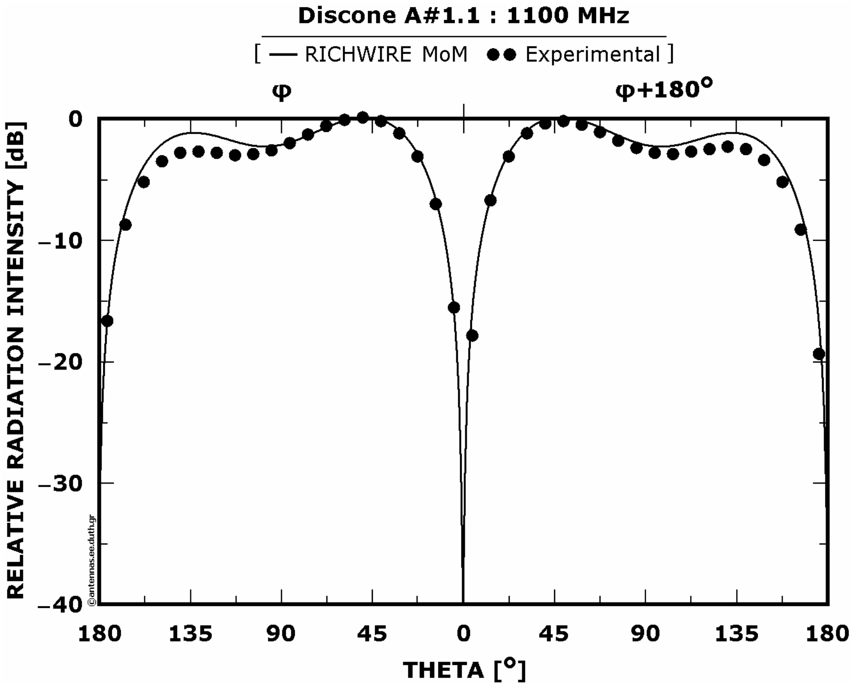


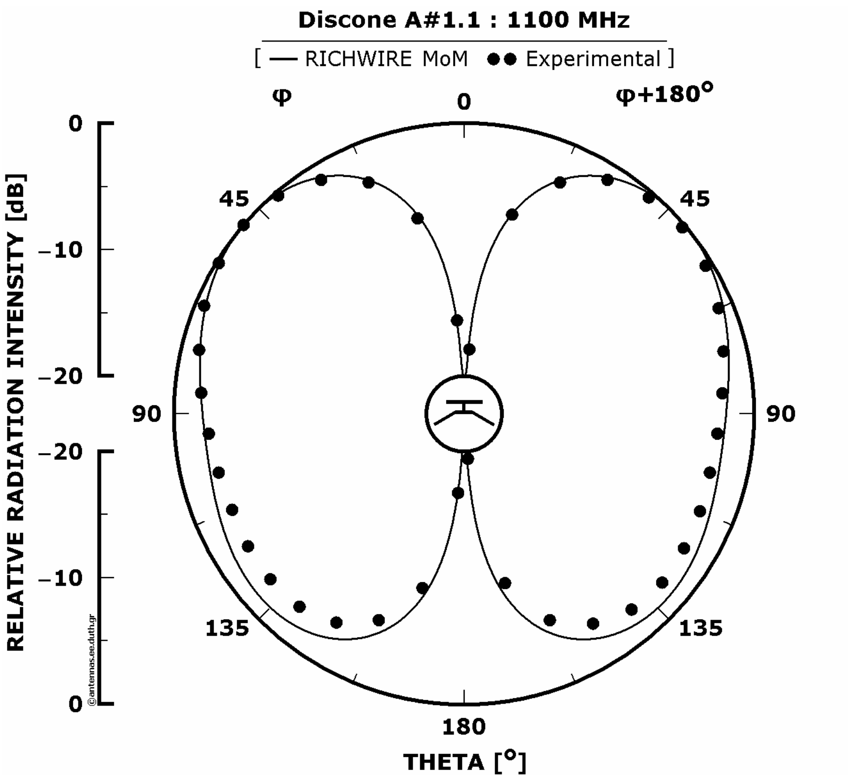
Σχήμα 5.3.1.5: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



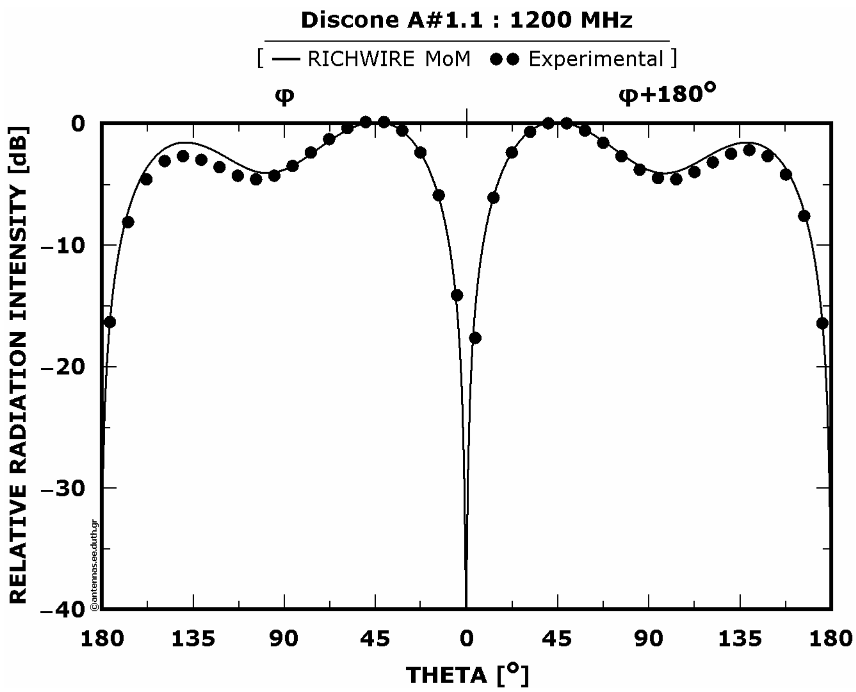


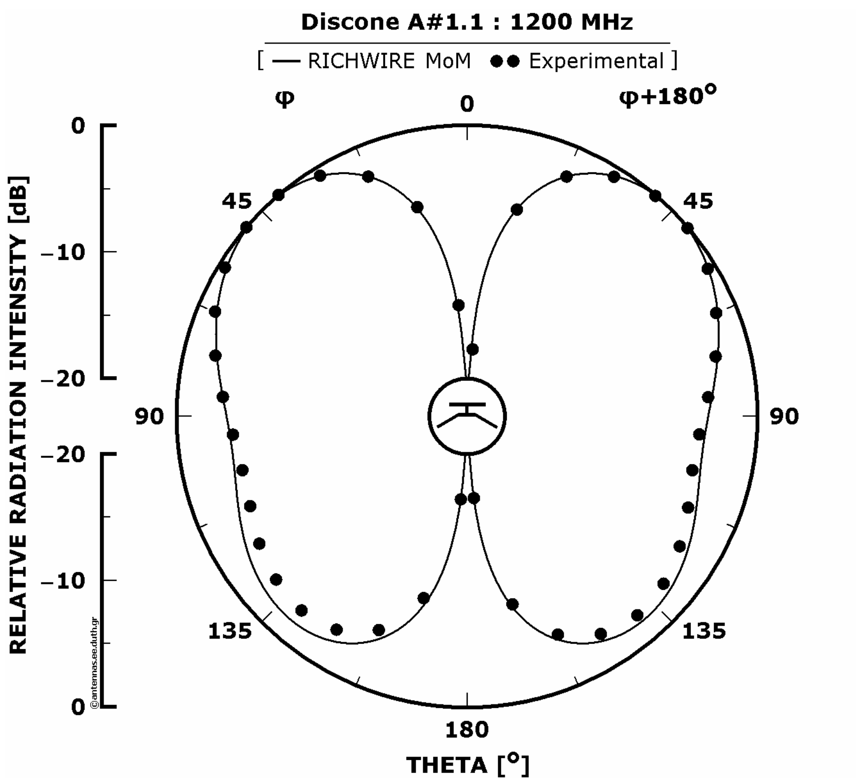
Σχήμα 5.3.1.6: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



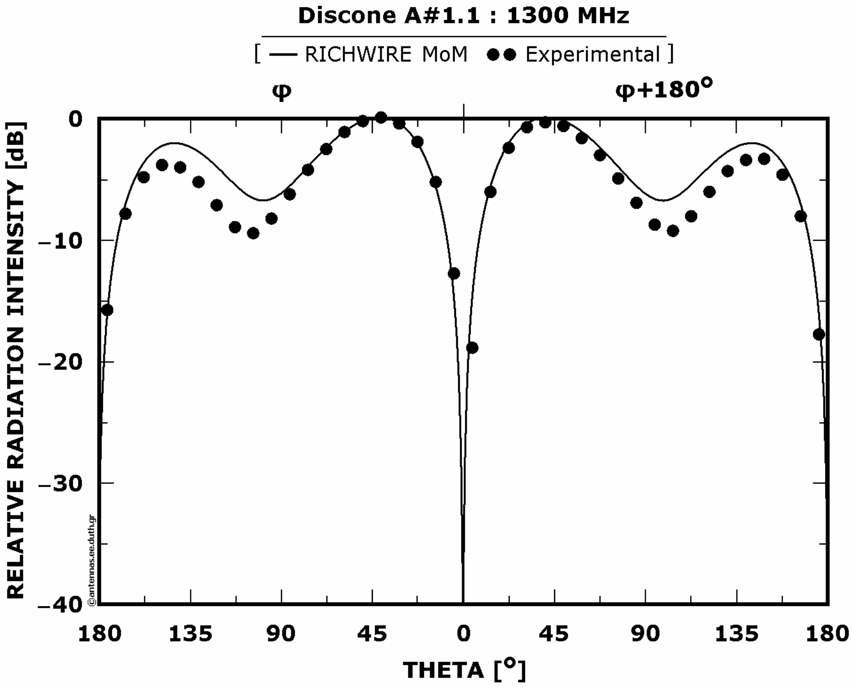


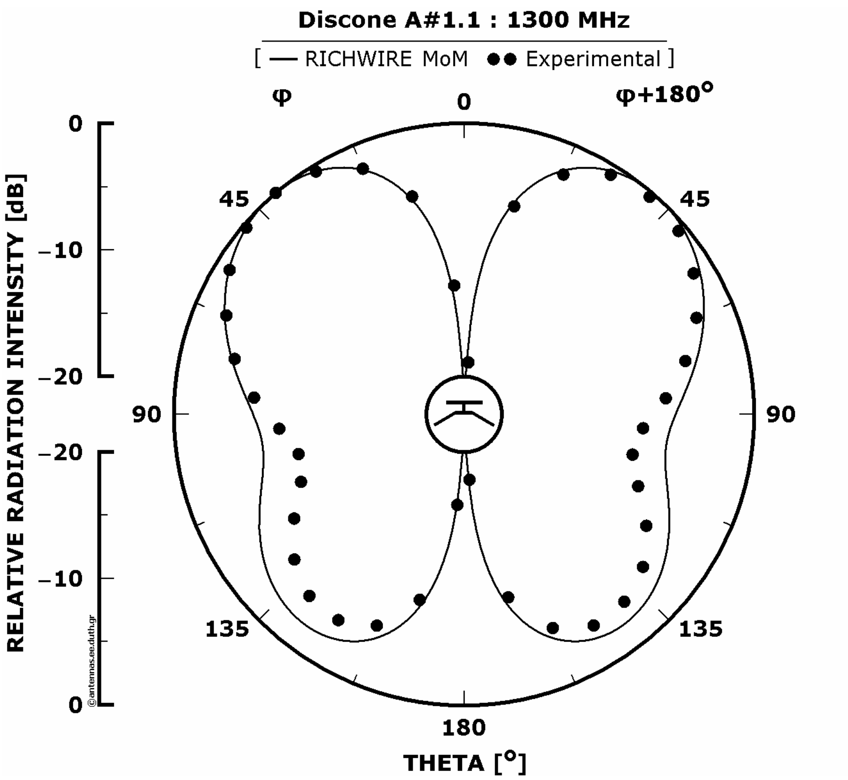
Σχήμα 5.3.1.7: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



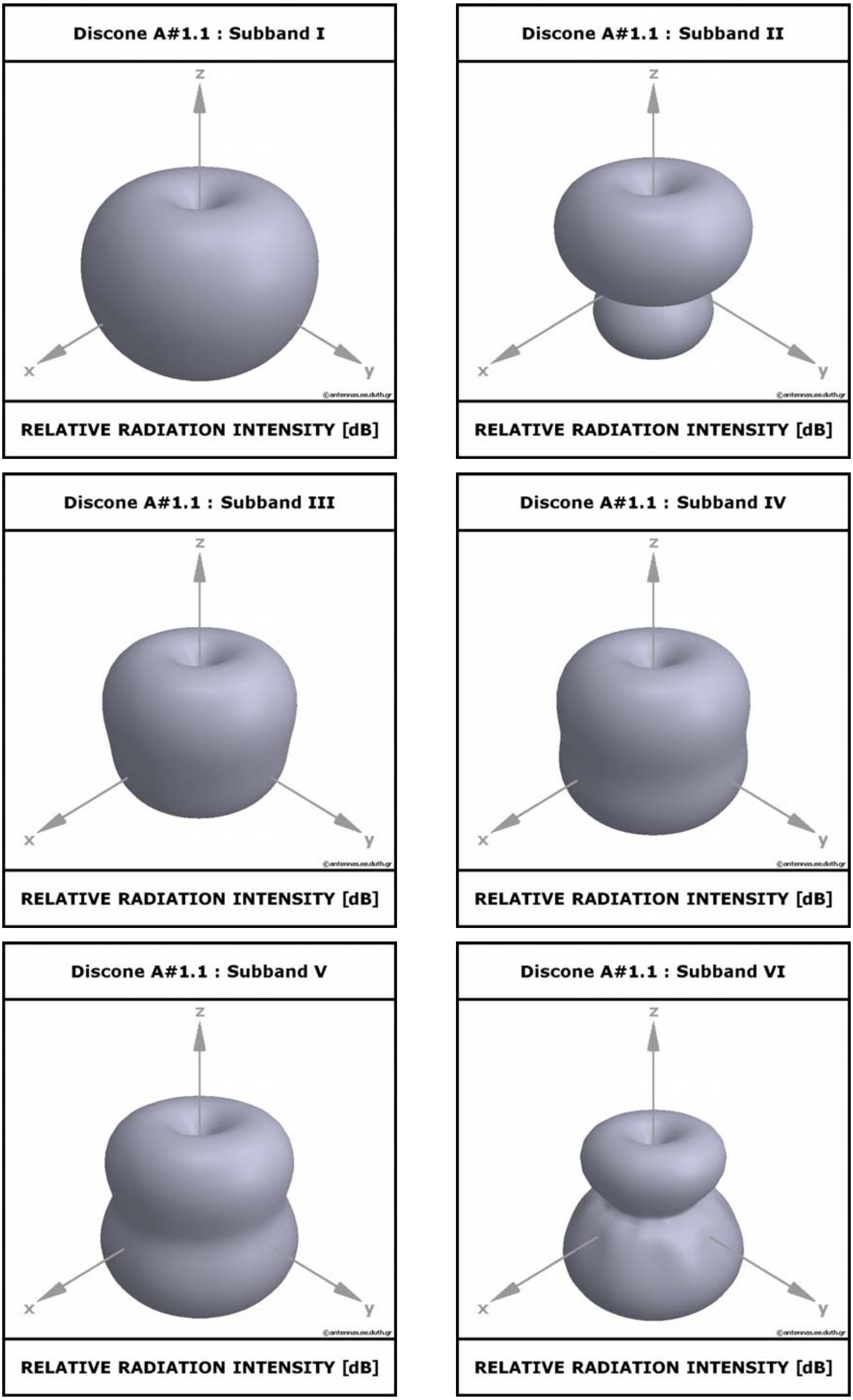


Σχήμα 5.3.1.8: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.





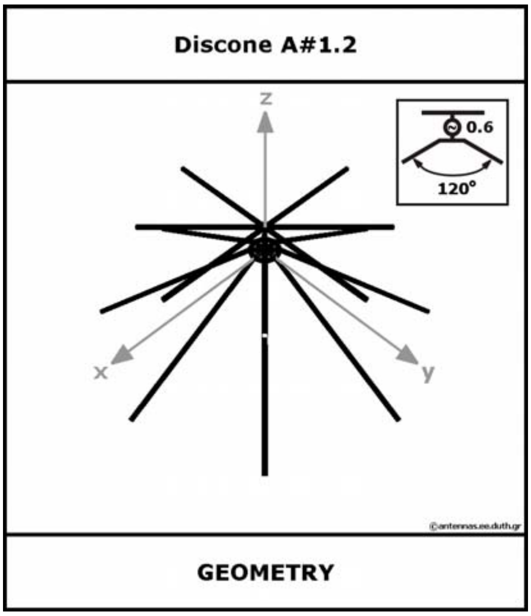
Σχήμα 5.3.1.9: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



<u>Σχήμα 5.3.1.10</u>: Σχετική ένταση ακτινοβολίας στην κεντρική συχνότητα κάθε υποζώνης.

5.3.2 : Discone A#1.2.

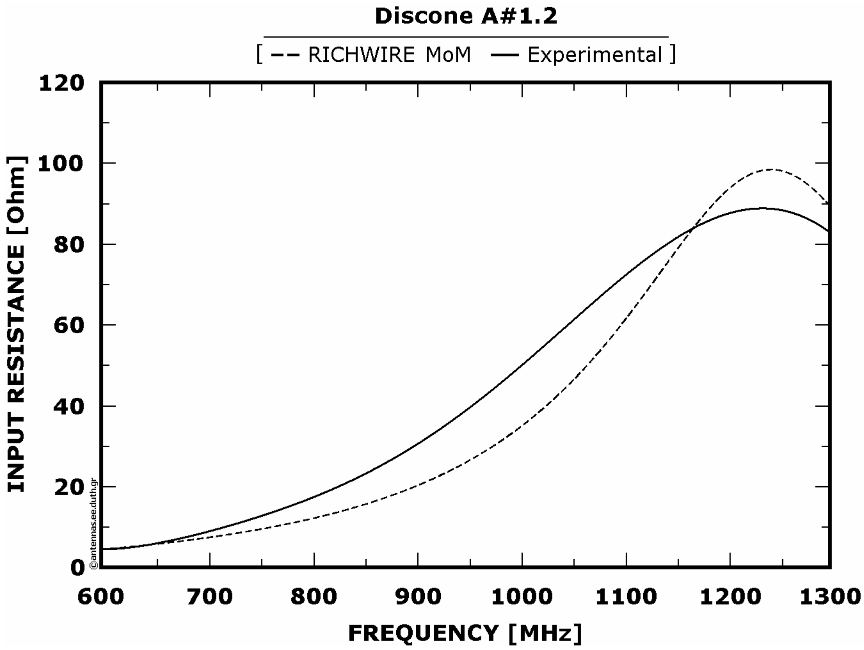
Τα χαρακτηριστικά της κεραίας δίνονται στον Πίνακα 5.3.2.1.



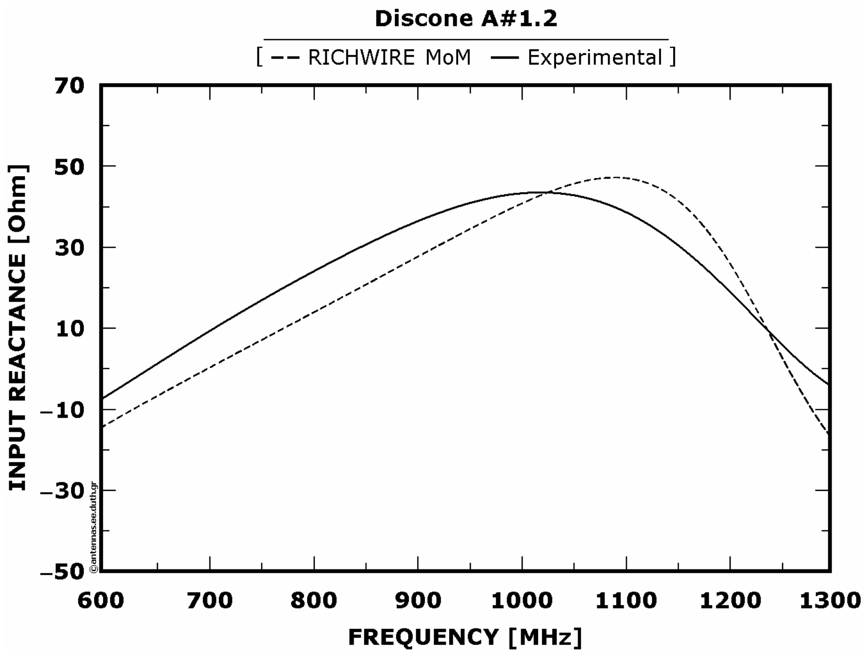
Σχήμα 5.3.2.1: Γεωμετρία της Discone A#1.2.

Πίνακας 5.3.2.1: Χαρακτηριστικά της κεραίας A#1.2.

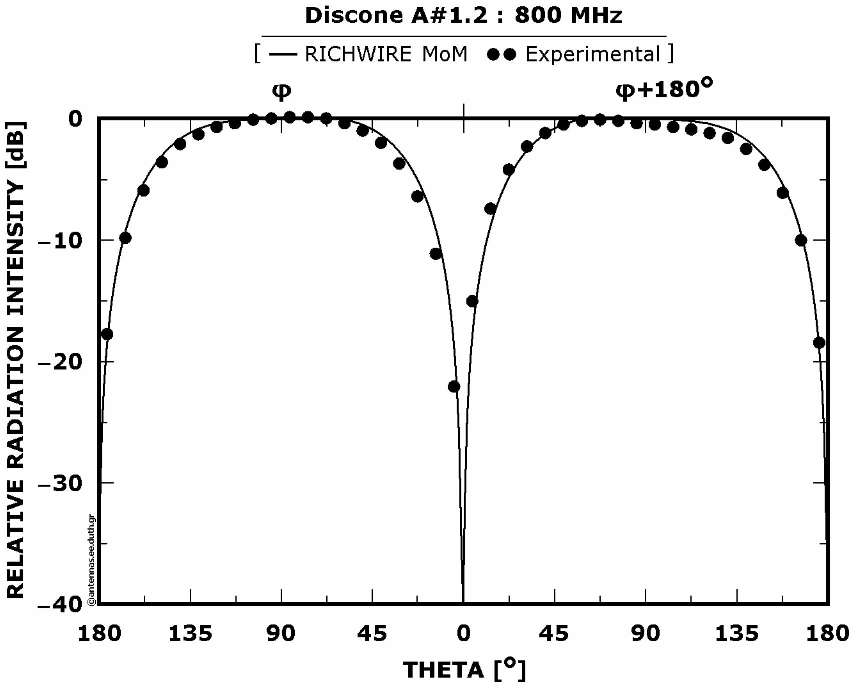
Αριθμός ακτίνων δίσκου	8
Αριθμός ακτίνων κώνου	8
Διάμετρος δίσκου D [cm]	16.2
Απόσταση δίσκου-κώνου s [cm]	0.6
Απόστημα κώνου L [cm]	12.5
Γωνία κώνου α [°]	120
Περιοχή συχνοτήτων προσομοίωσης [MHz]	[600, 2500]
Περιοχή συχνοτήτων μέτρησης [MHz]	[600, 1300]
Περιοχή συχνοτήτων με VSWR $\leq$ 2 [MHz]	[1230, 1670] $\wedge$ [1920, 2370]
Κατευθυντικότητα [dBi]	[0.93, 5.17]

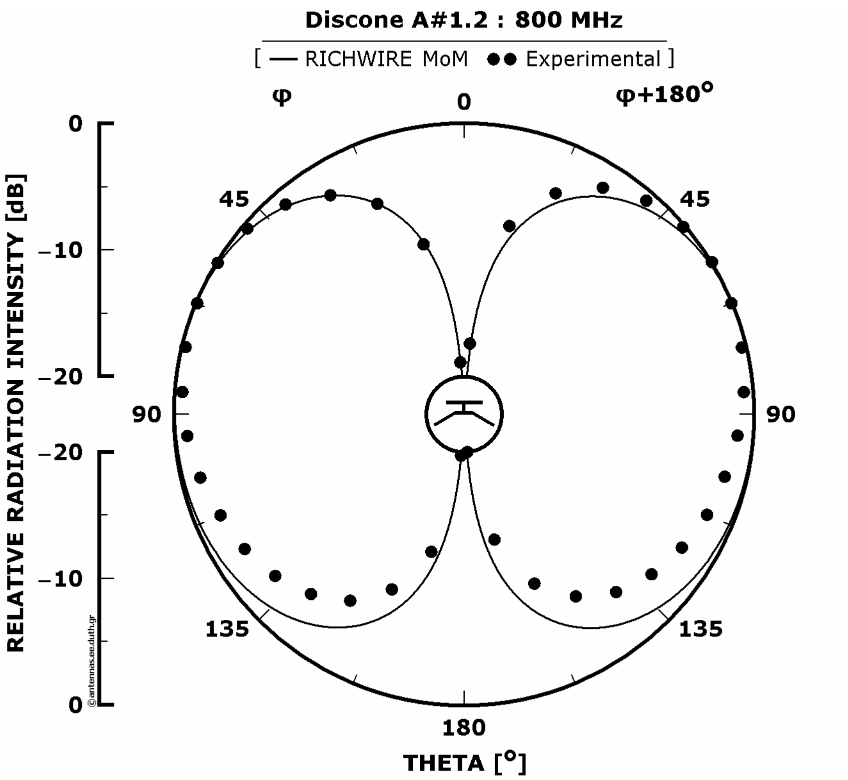


Σχήμα 5.3.2.2: Πραγματικό μέρος της σύνθετης αντίστασης εισόδου.

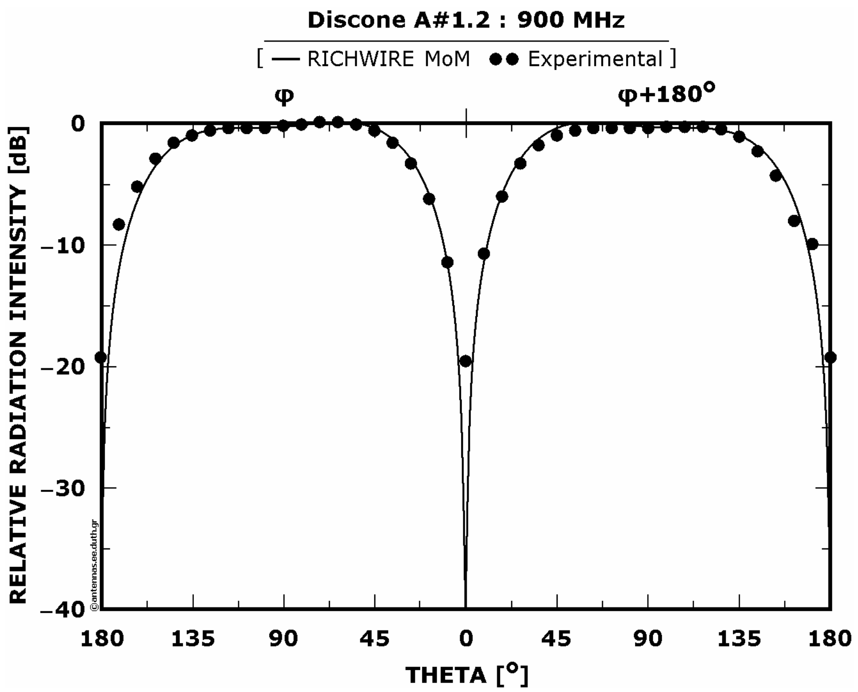


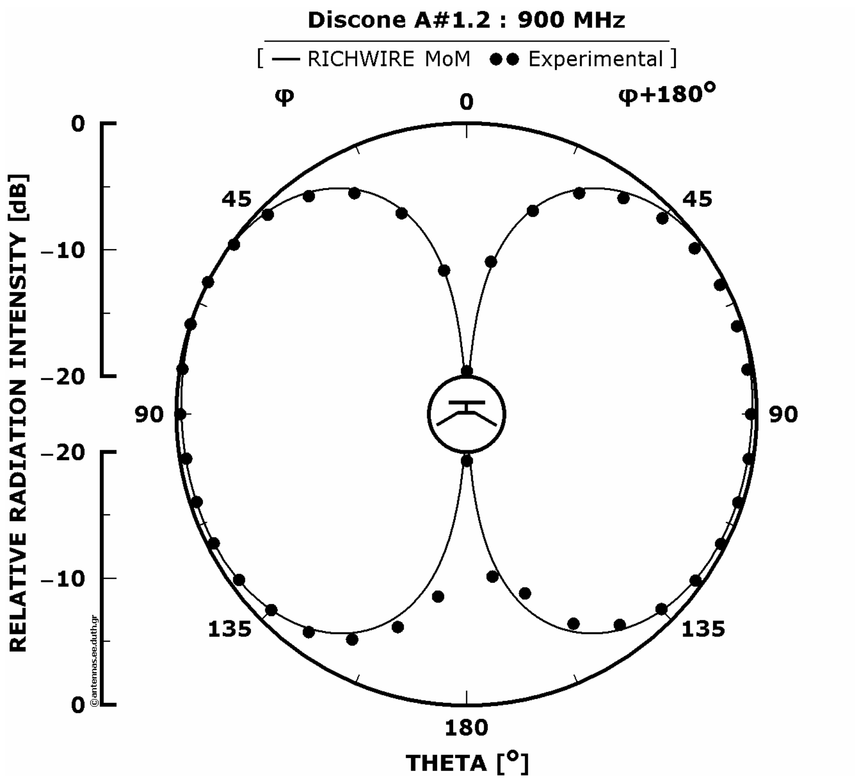
Σχήμα 5.3.2.3: Φανταστικό μέρος της σύνθετης αντίστασης εισόδου.



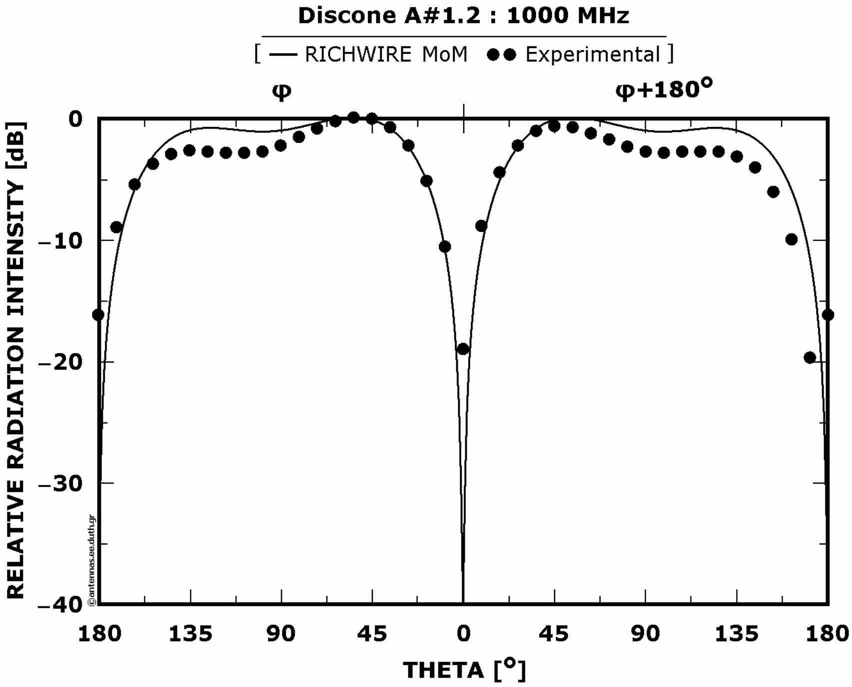


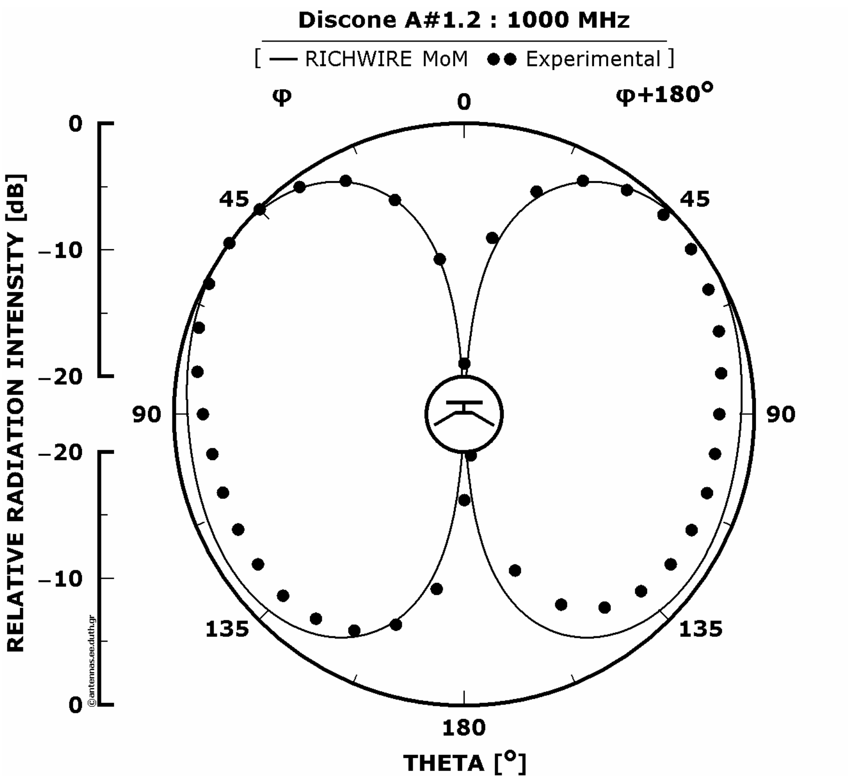
Σχήμα 5.3.2.4: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



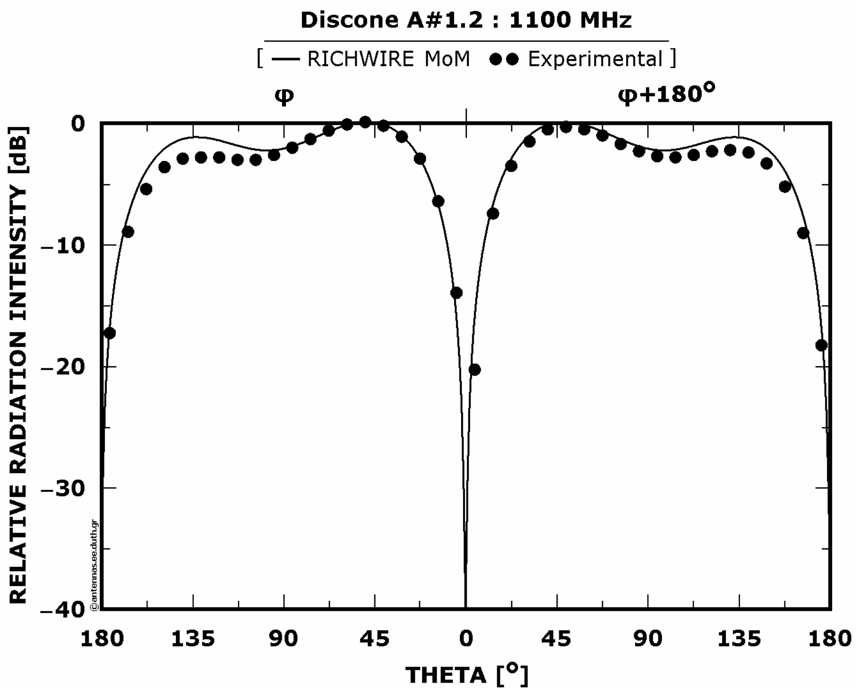


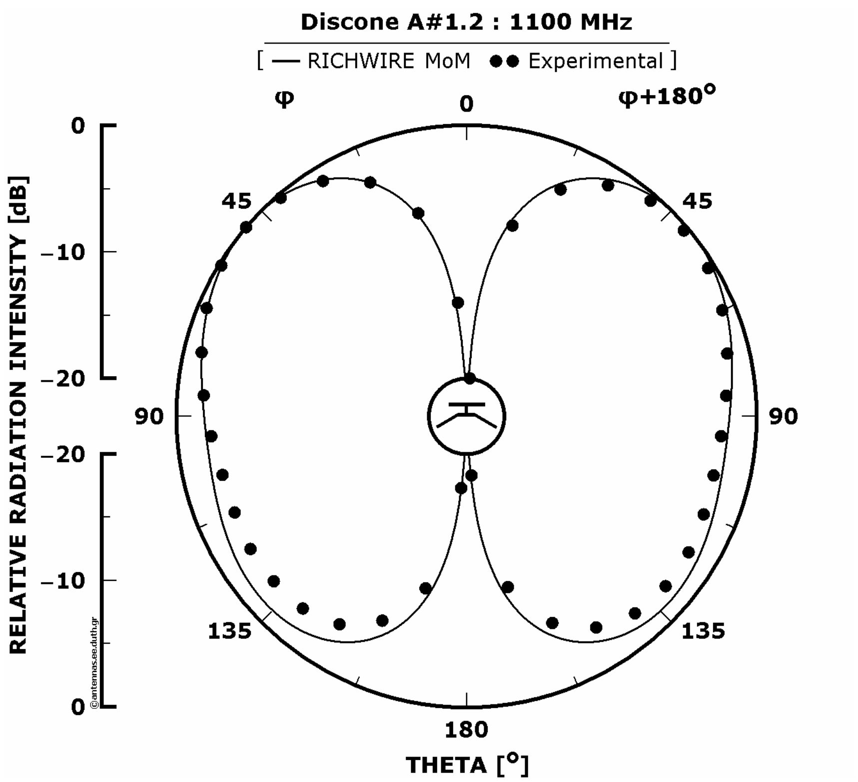
Σχήμα 5.3.2.5: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



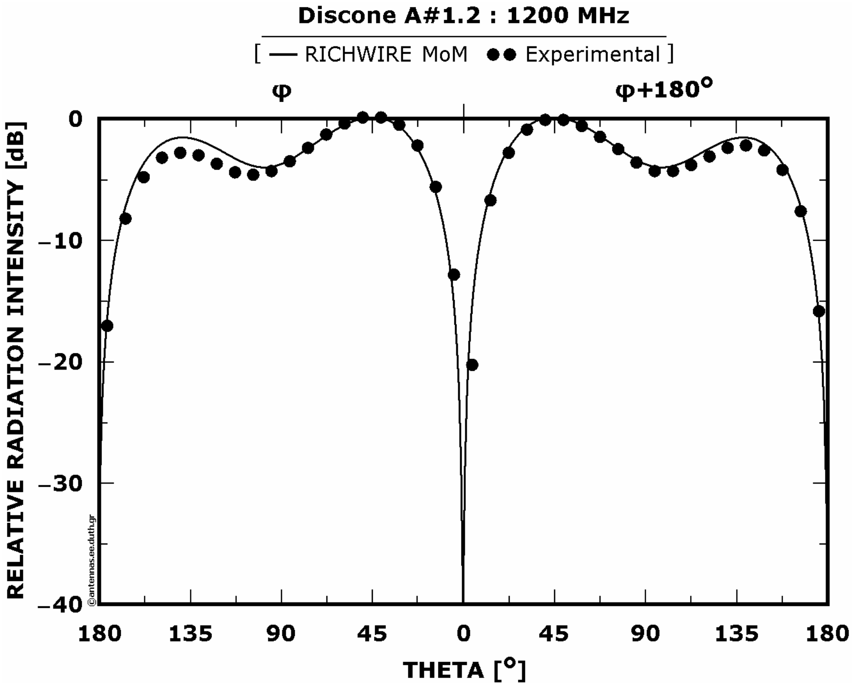


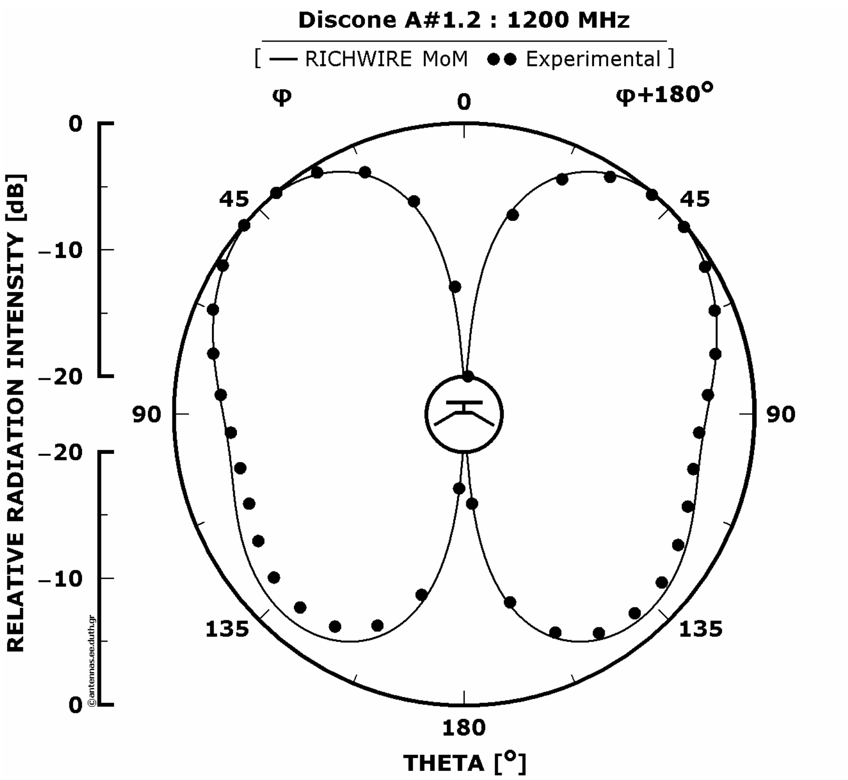
Σχήμα 5.3.2.6: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



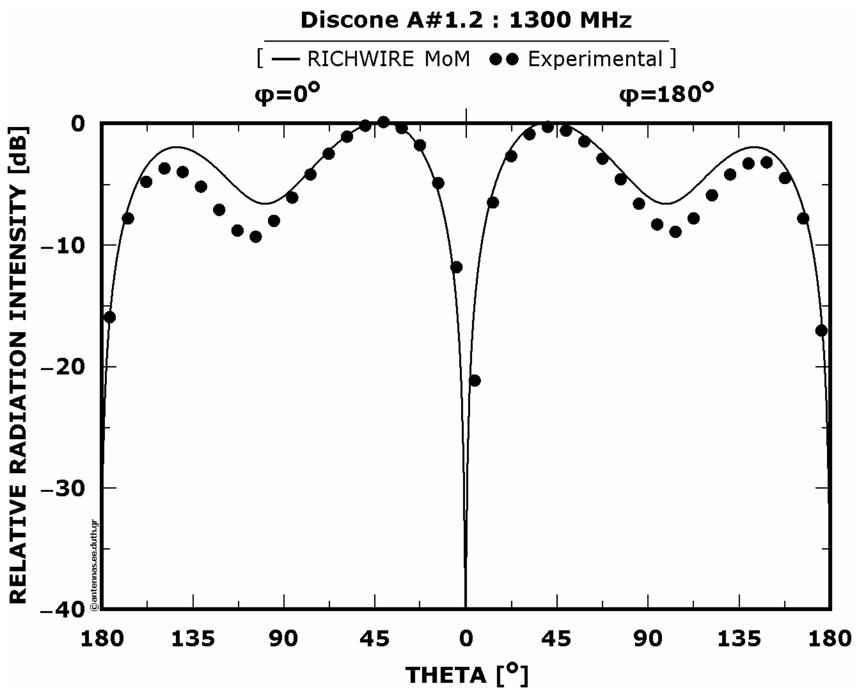


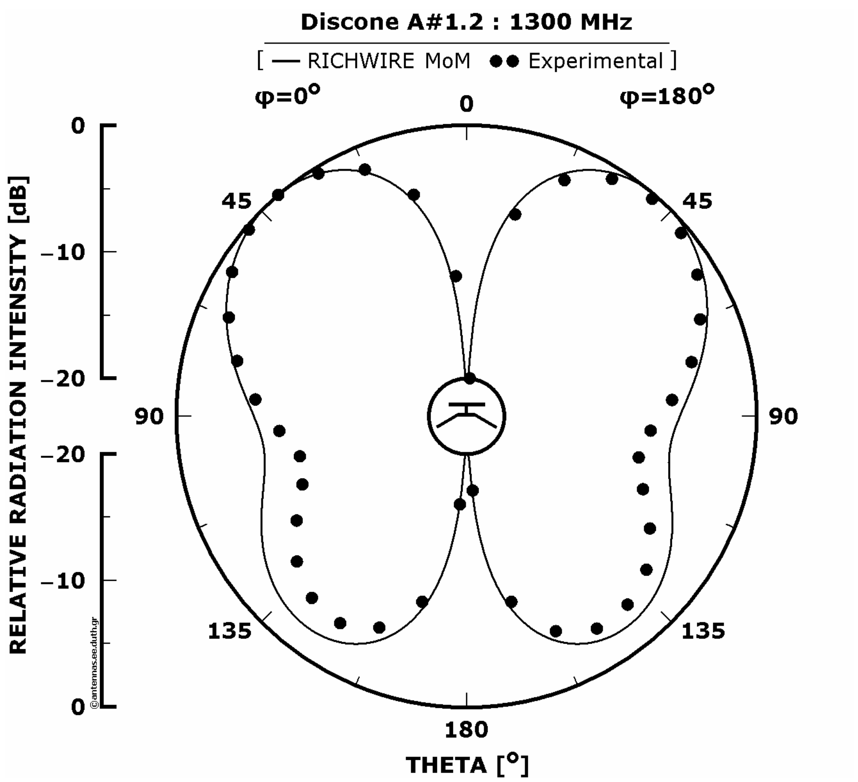
Σχήμα 5.3.2.7: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



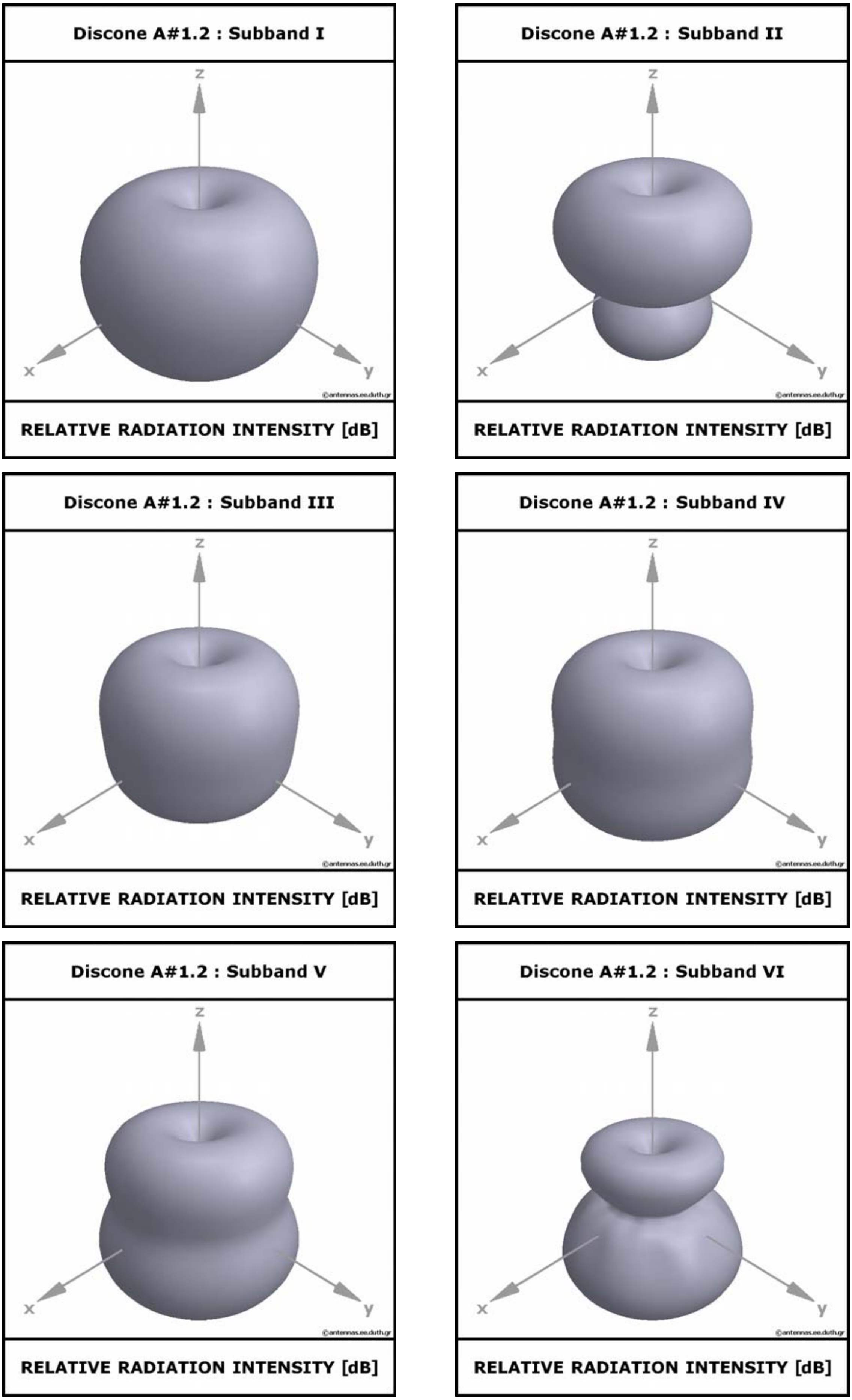


Σχήμα 5.3.2.8: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.





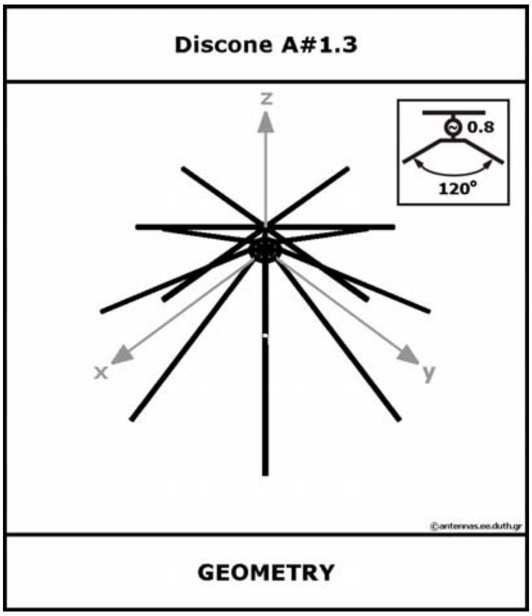
Σχήμα 5.3.2.9: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



Σχήμα 5.3.2.10: Σχετική ένταση ακτινοβολίας στην κεντρική συχνότητα κάθε υποζώνης.

5.3.3 : Discone A#1.3.

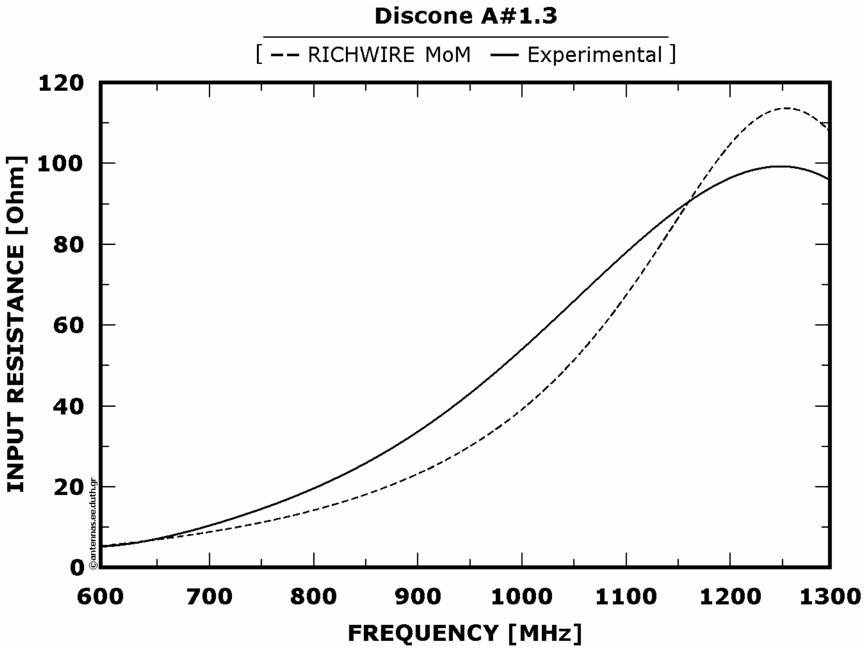
Τα χαρακτηριστικά της κεραίας δίνονται στον Πίνακα 5.3.3.1.



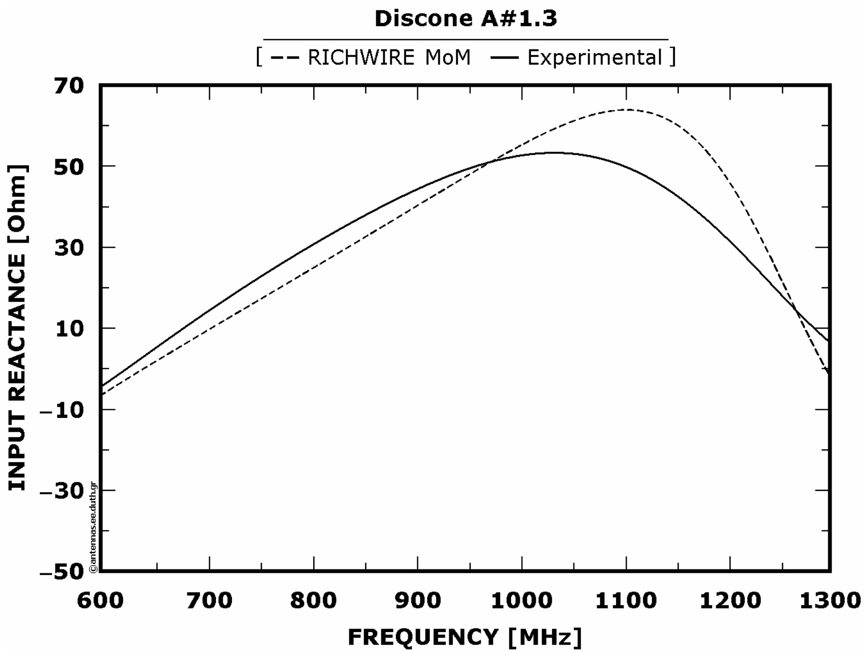
Σχήμα 5.3.3.1: Γεωμετρία της Discone A#1.3.

Πίνακας 5.3.3.1: Χαρακτηριστικά της κεραίας A#1.3.

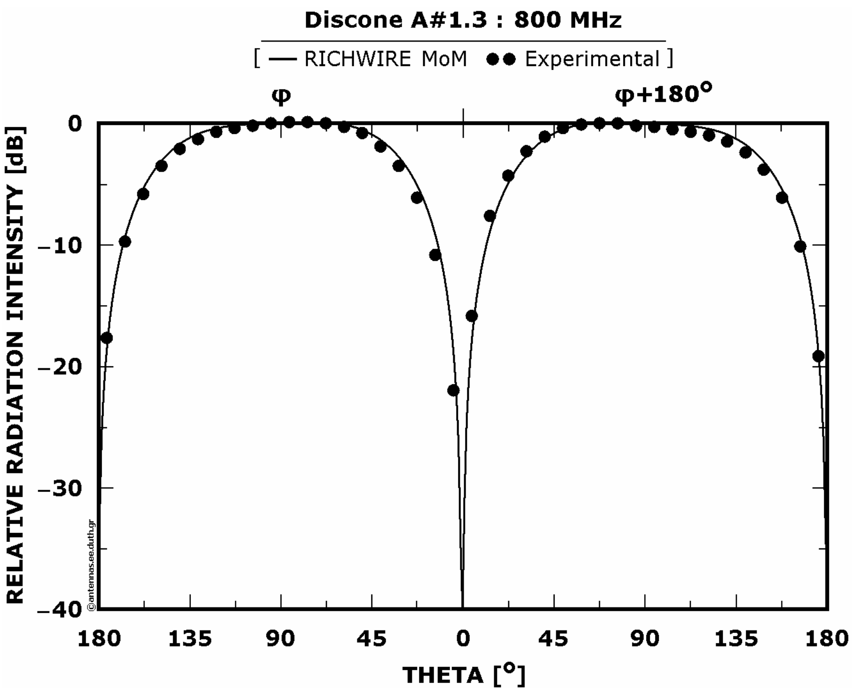
Αριθμός ακτίνων δίσκου	8
Αριθμός ακτίνων κώνου	8
Διάμετρος δίσκου D [cm]	16.2
Απόσταση δίσκου-κώνου s [cm]	0.8
Απόστημα κώνου L [cm]	12.5
Γωνία κώνου α [°]	120
Περιοχή συχνοτήτων προσομοίωσης [MHz]	[600, 2500]
Περιοχή συχνοτήτων μέτρησης [MHz]	[600, 1300]
Περιοχή συχνοτήτων με VSWR ≤ 2 [MHz]	[1330, 1640] ∧ [2190, 2500]
Κατευθυντικότητα [dBi]	[0.93, 5.29]

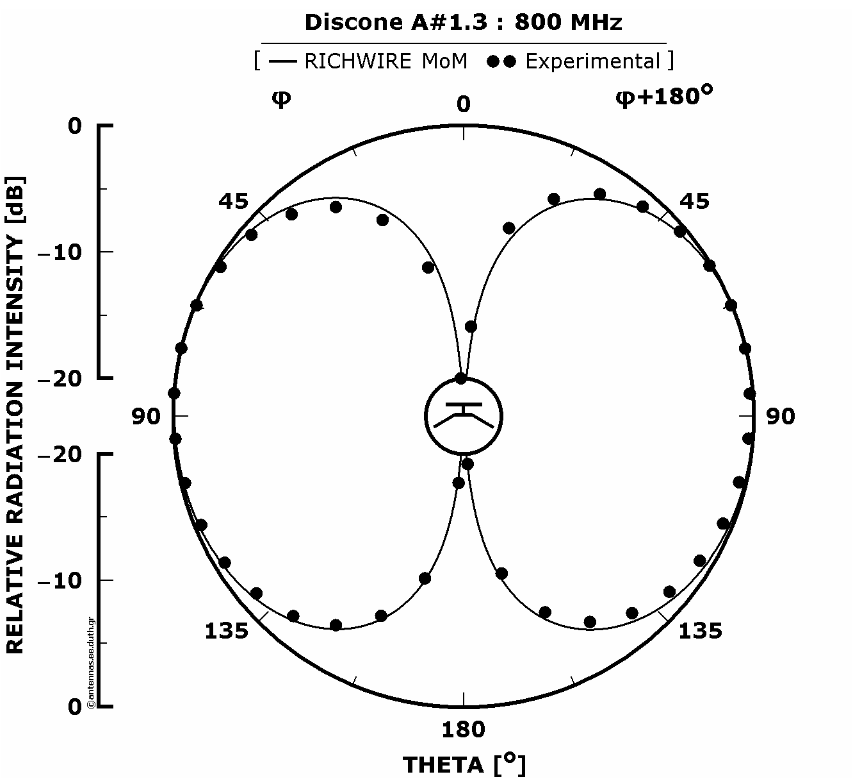


Σχήμα 5.3.3.2: Πραγματικό μέρος της σύνθετης αντίστασης εισόδου.

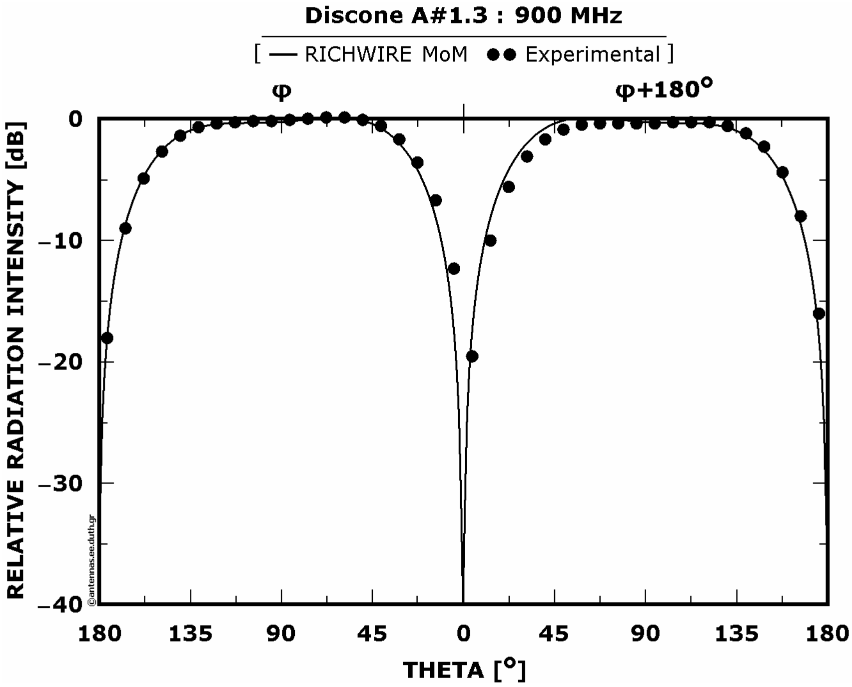


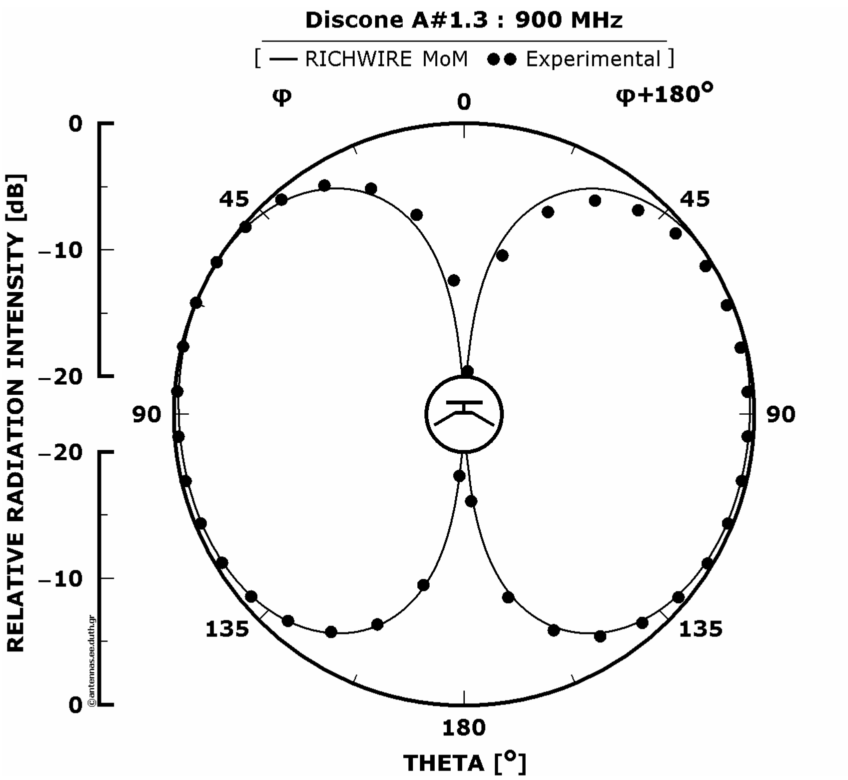
Σχήμα 5.3.3.3: Φανταστικό μέρος της σύνθετης αντίστασης εισόδου.



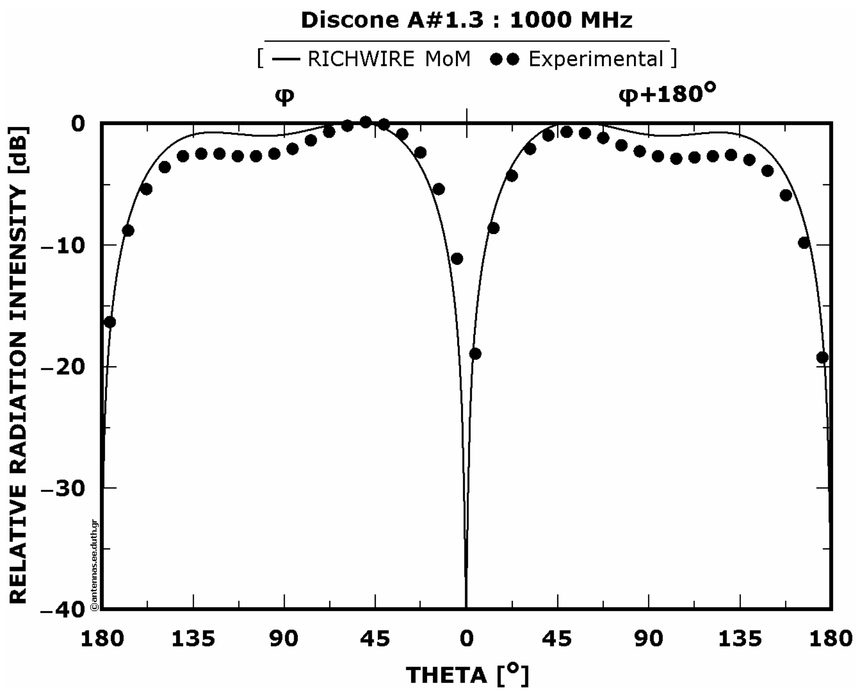


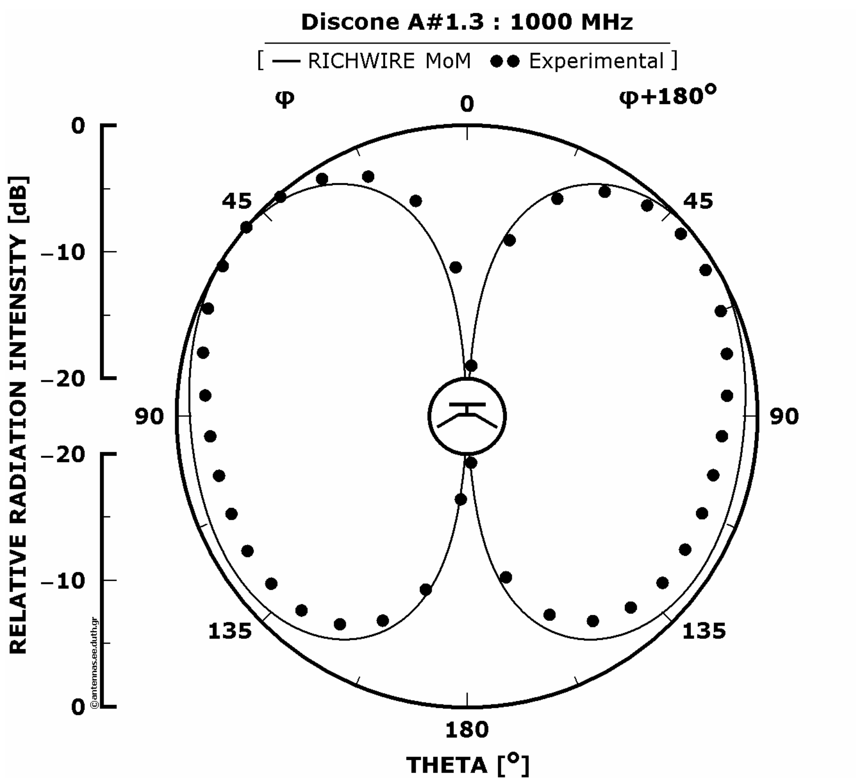
Σχήμα 5.3.3.4: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



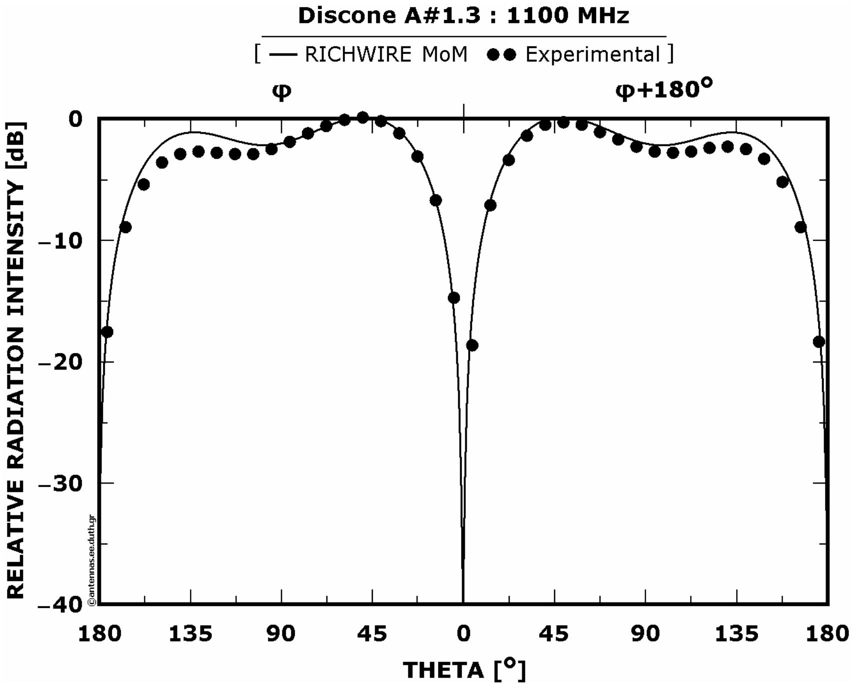


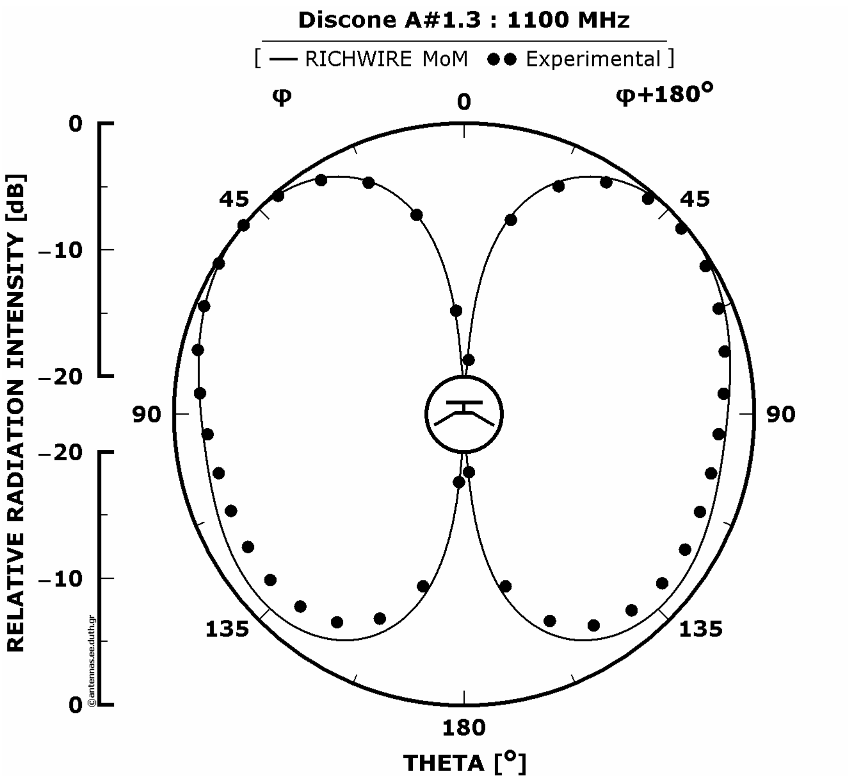
Σχήμα 5.3.3.5: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



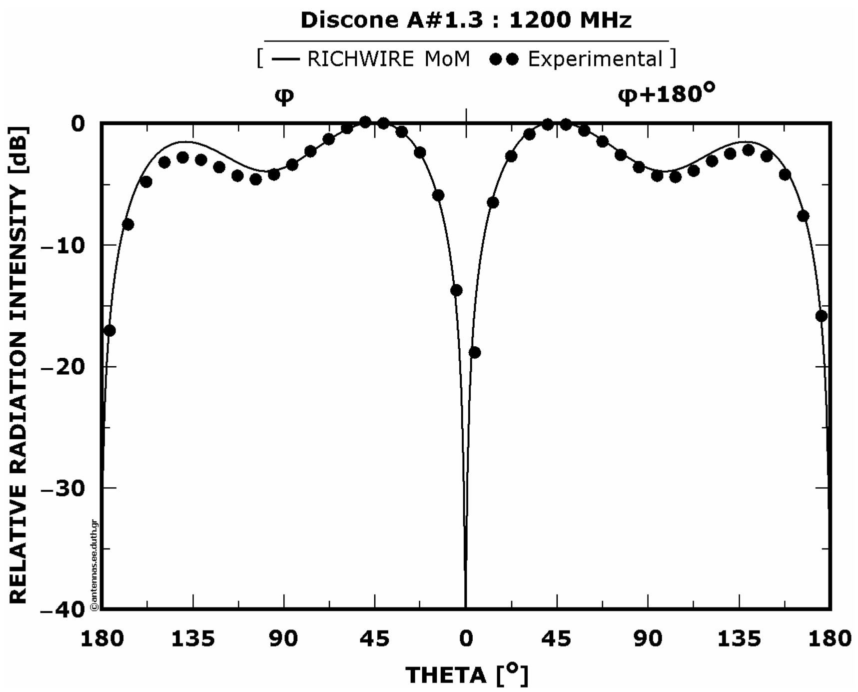


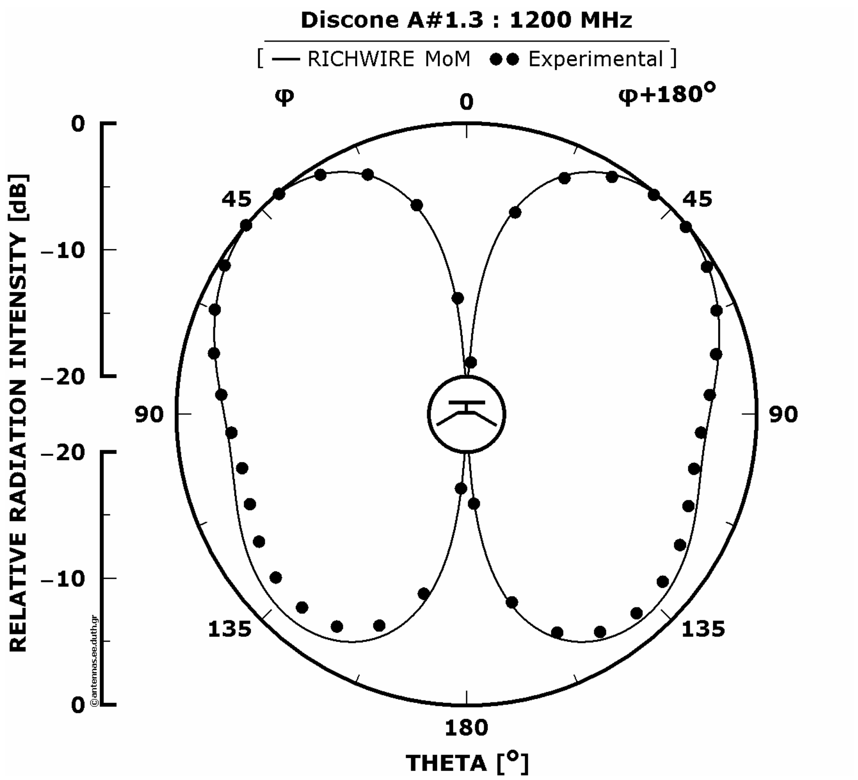
Σχήμα 5.3.3.6: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



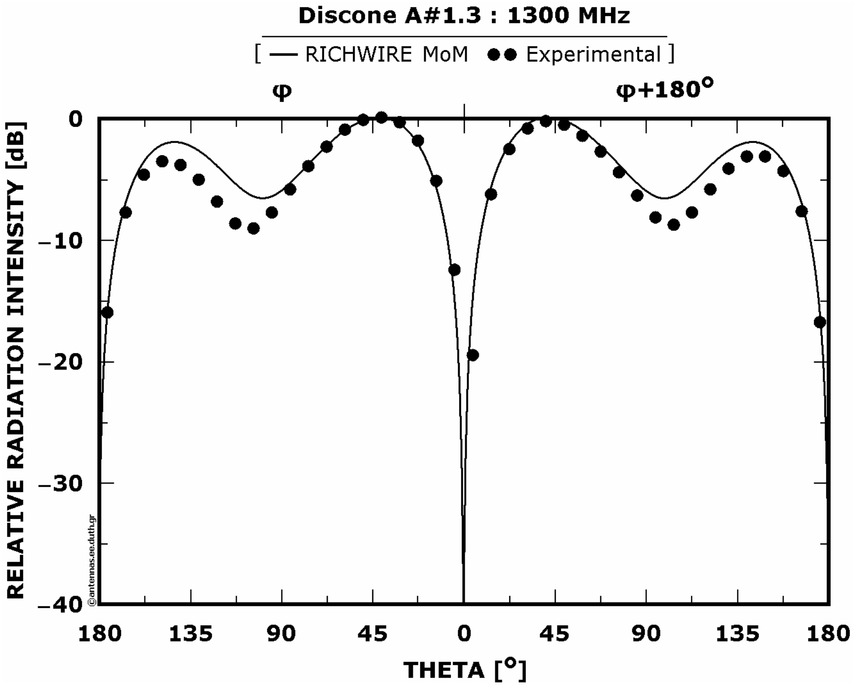


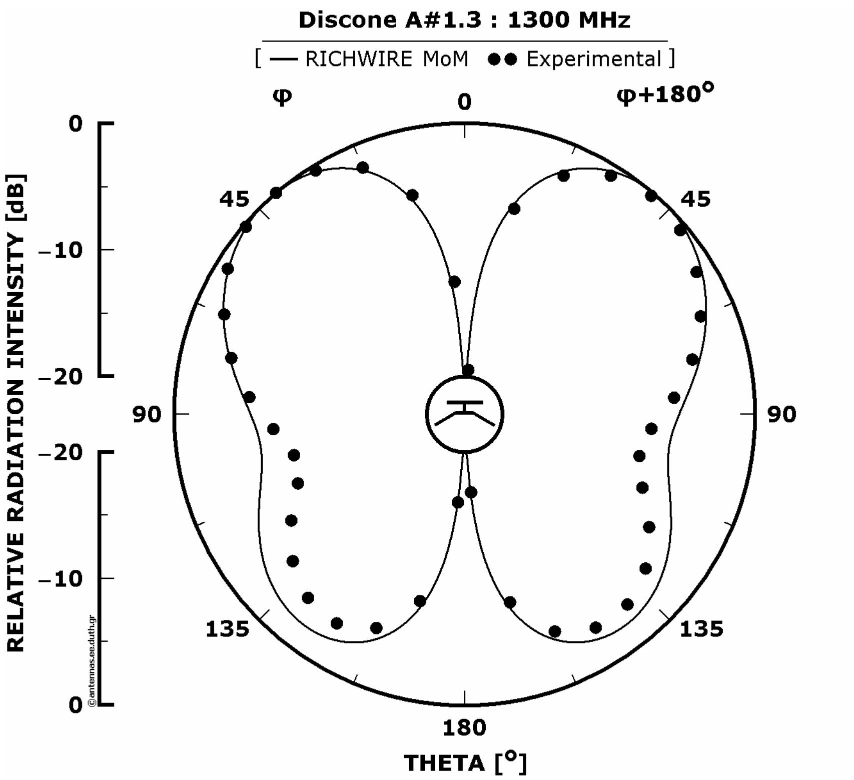
<u>Σχήμα 5.3.3.7</u>: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



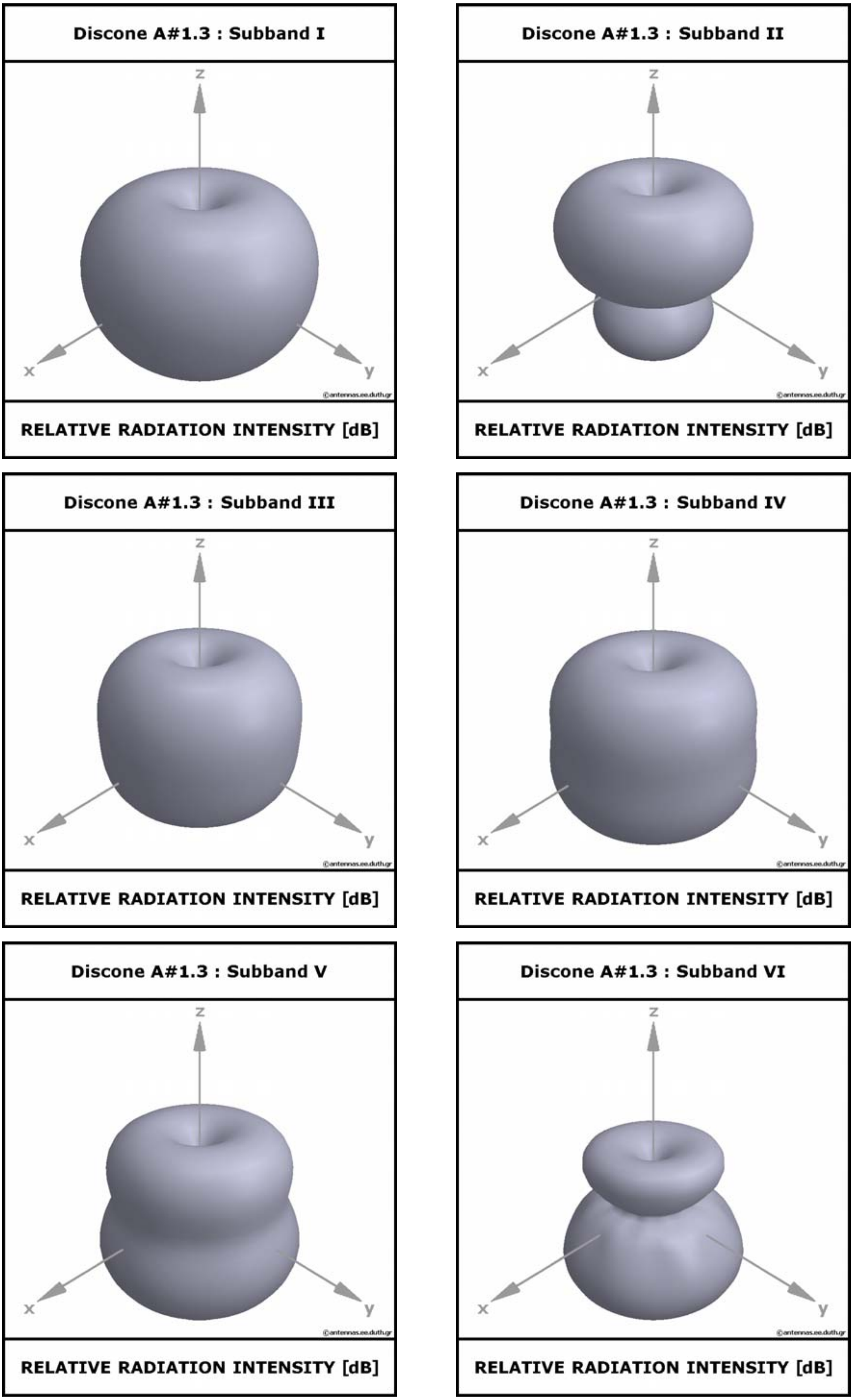


Σχήμα 5.3.3.8: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.





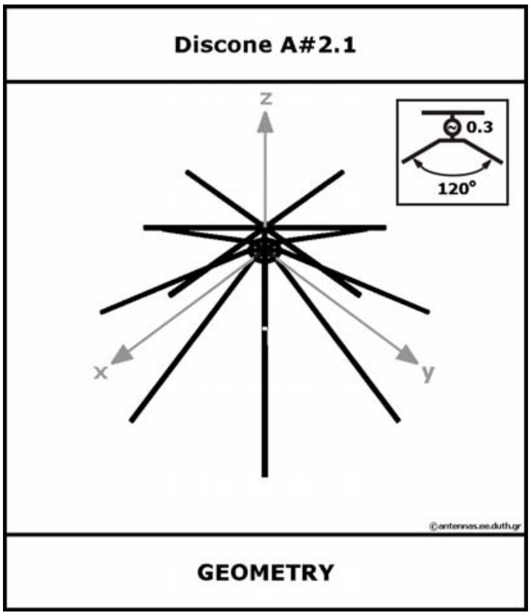
Σχήμα 5.3.3.9: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



Σχήμα 5.3.3.10: Σχετική ένταση ακτινοβολίας στην κεντρική συχνότητα κάθε υποζώνης.

5.3.4 : Discone A#2.1.

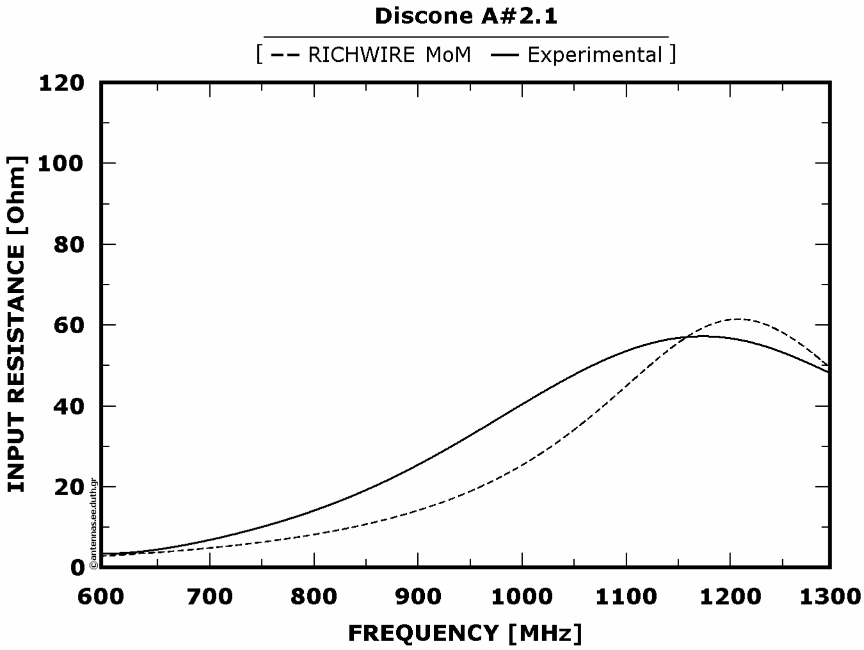
Τα χαρακτηριστικά της κεραίας δίνονται στον Πίνακα 5.3.4.1.



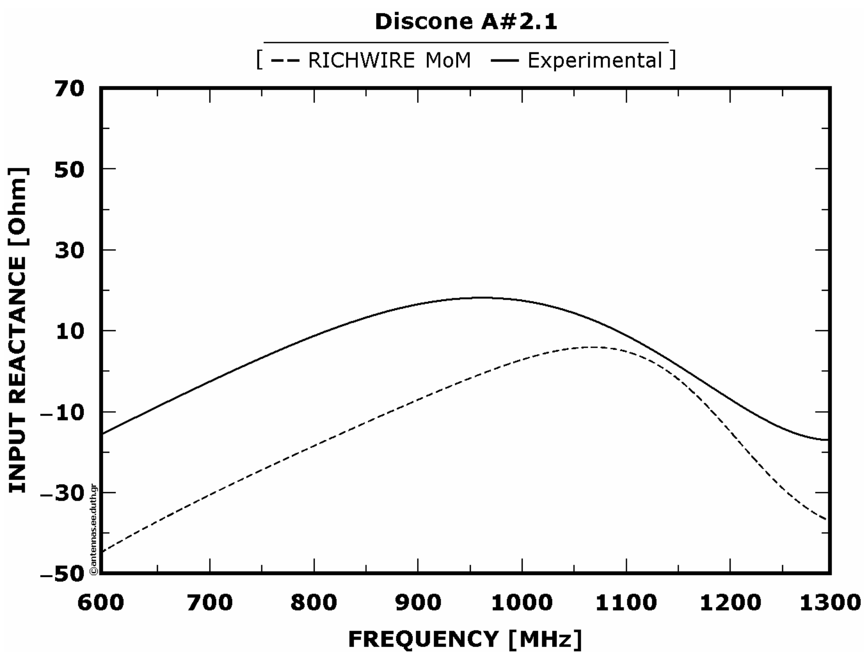
Σχήμα 5.3.4.1: Γεωμετρία της Discone A#2.1.

Πίνακας 5.3.4.1: Χαρακτηριστικά της κεραίας A#2.1.

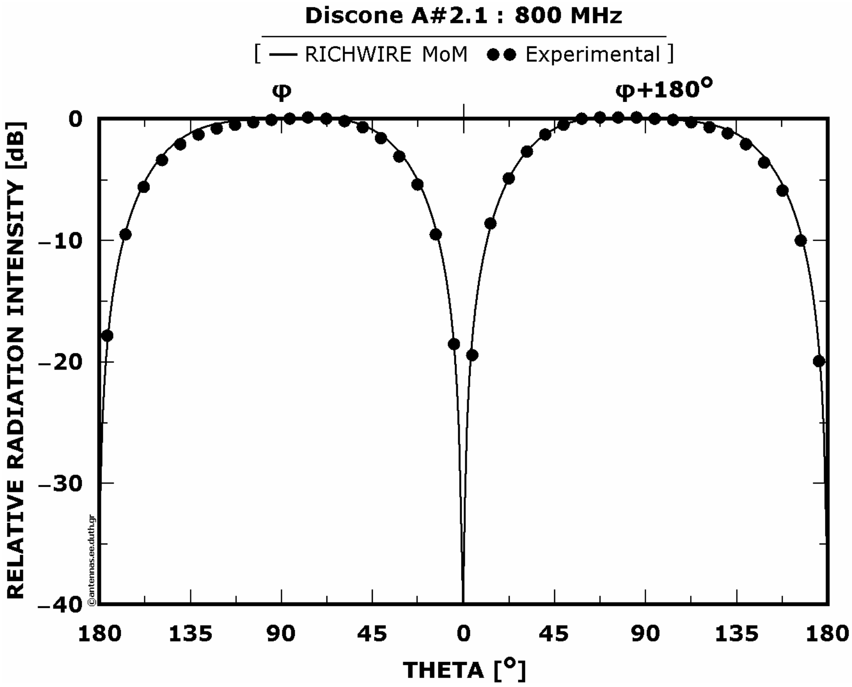
Αριθμός ακτίνων δίσκου	8
Αριθμός ακτίνων κώνου	8
Διάμετρος δίσκου D [cm]	15.2
Απόσταση δίσκου-κώνου s [cm]	0.3
Απόστημα κώνου L [cm]	12.5
Γωνία κώνου α [°]	120
Περιοχή συχνοτήτων προσομοίωσης [MHz]	[600, 2500]
Περιοχή συχνοτήτων μέτρησης [MHz]	[600, 1300]
Περιοχή συχνοτήτων με VSWR $\leq$ 2 [MHz]	[1000, 1290] $\wedge$ [1780, 2090]
Κατευθυντικότητα [dBi]	[0.93, 4.86]

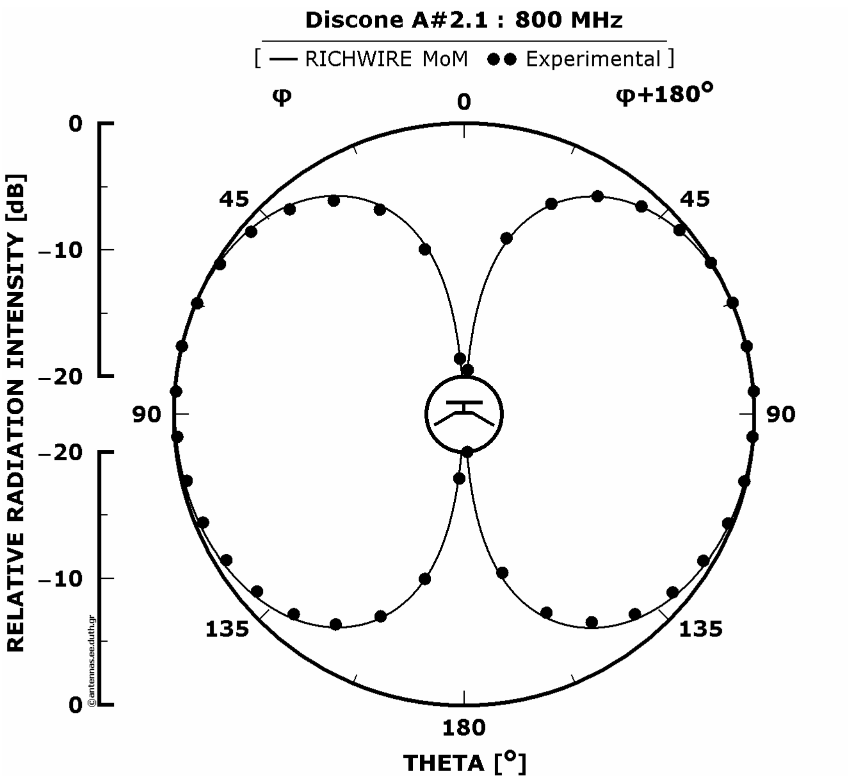


Σχήμα 5.3.4.2: Πραγματικό μέρος της σύνθετης αντίστασης εισόδου.

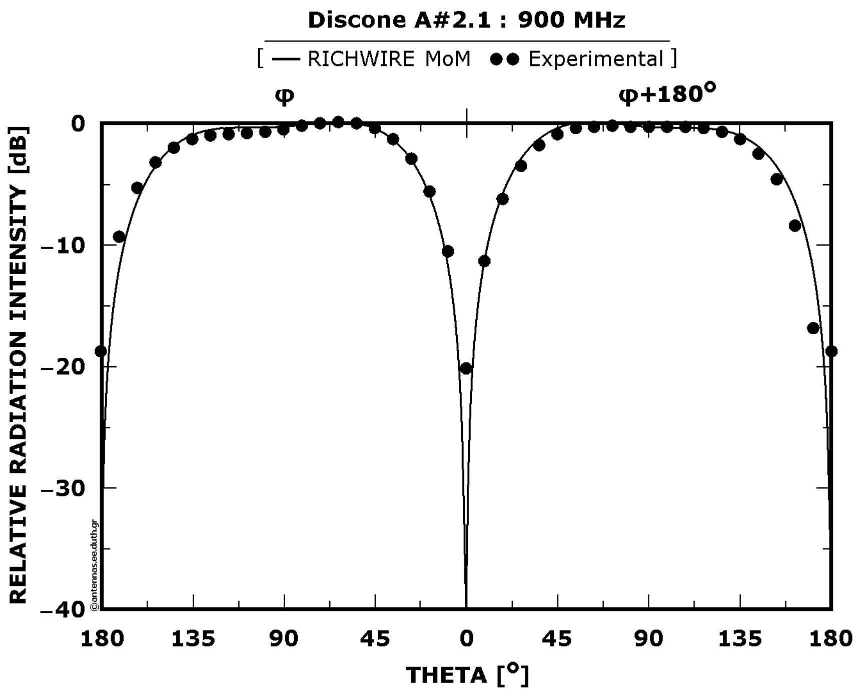


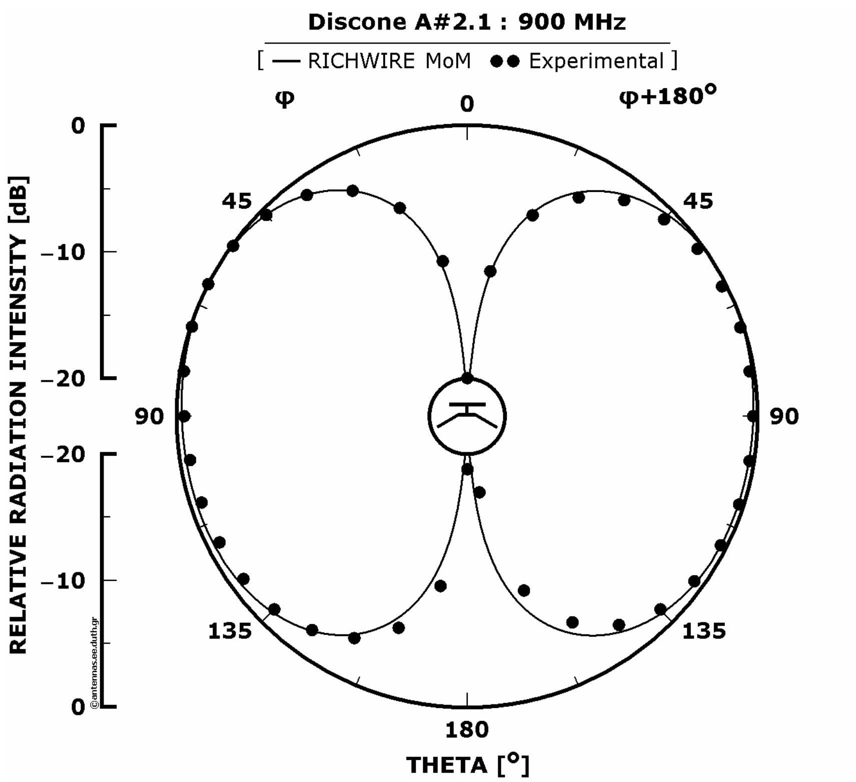
Σχήμα 5.3.4.3: Φανταστικό μέρος της σύνθετης αντίστασης εισόδου.



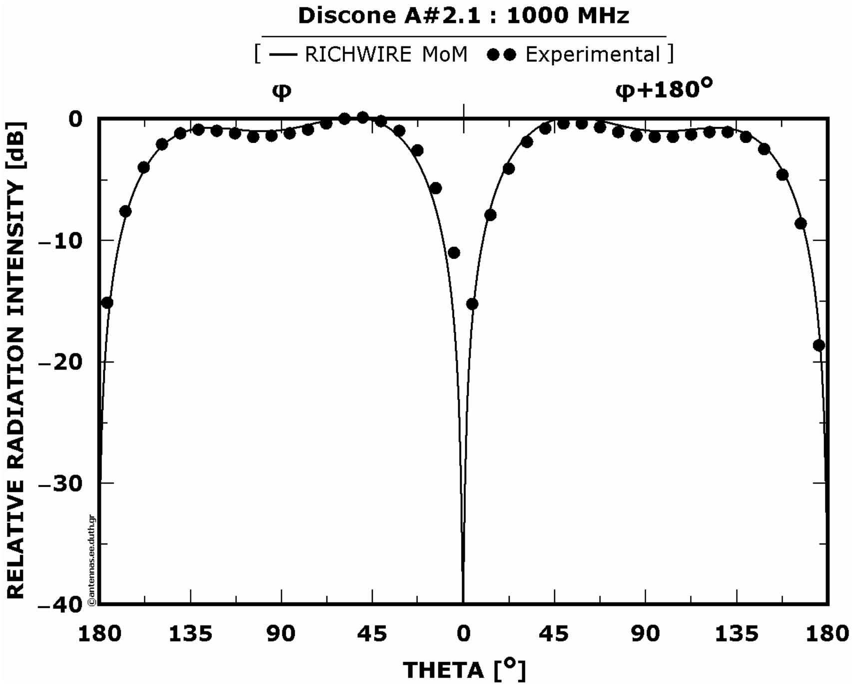


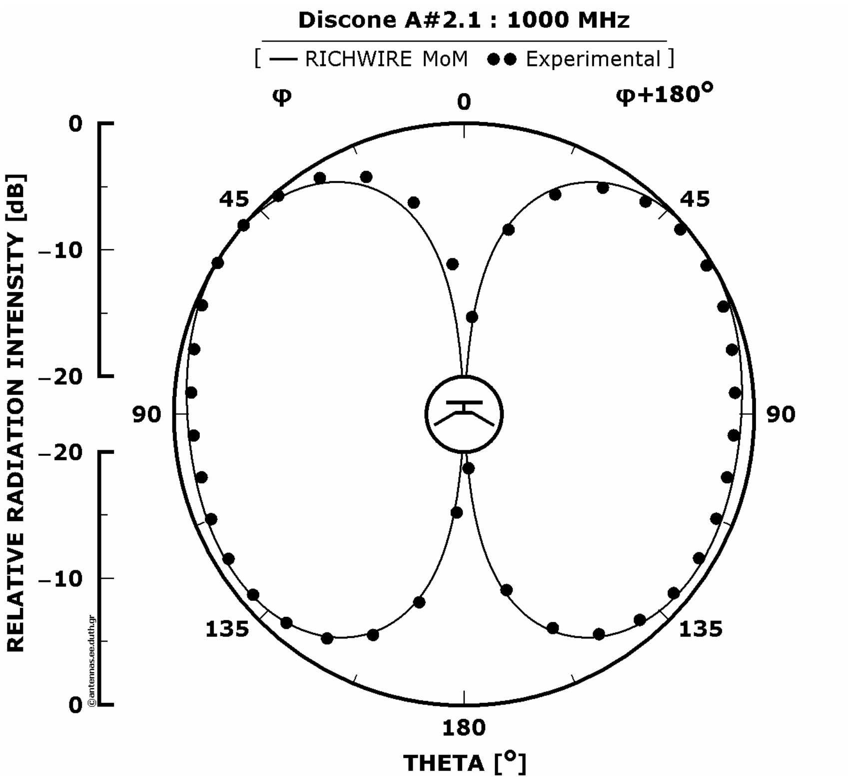
Σχήμα 5.3.4.4: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



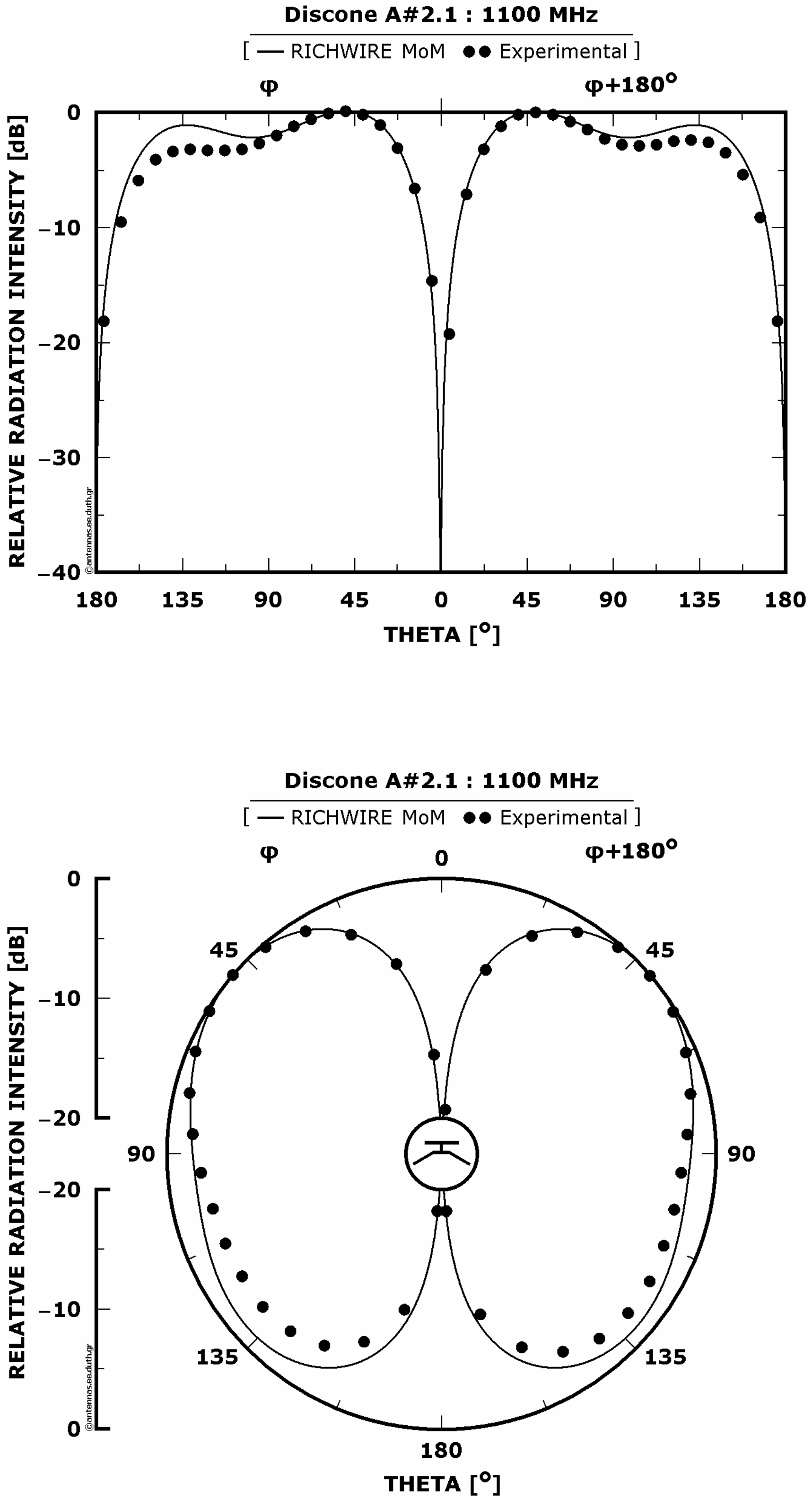


<u>Σχήμα 5.3.4.5</u>: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.

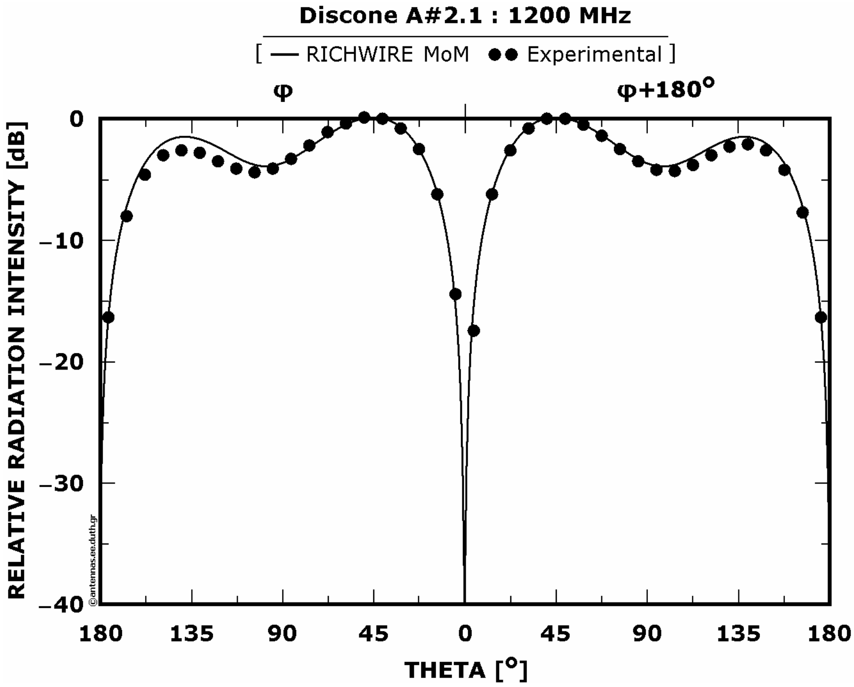


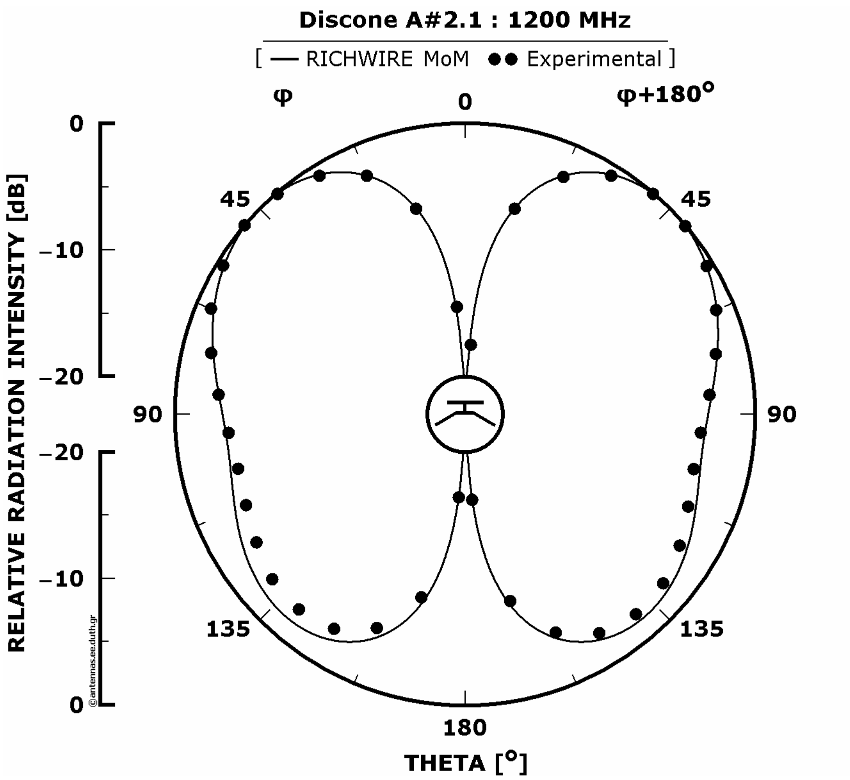


Σχήμα 5.3.4.6: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.

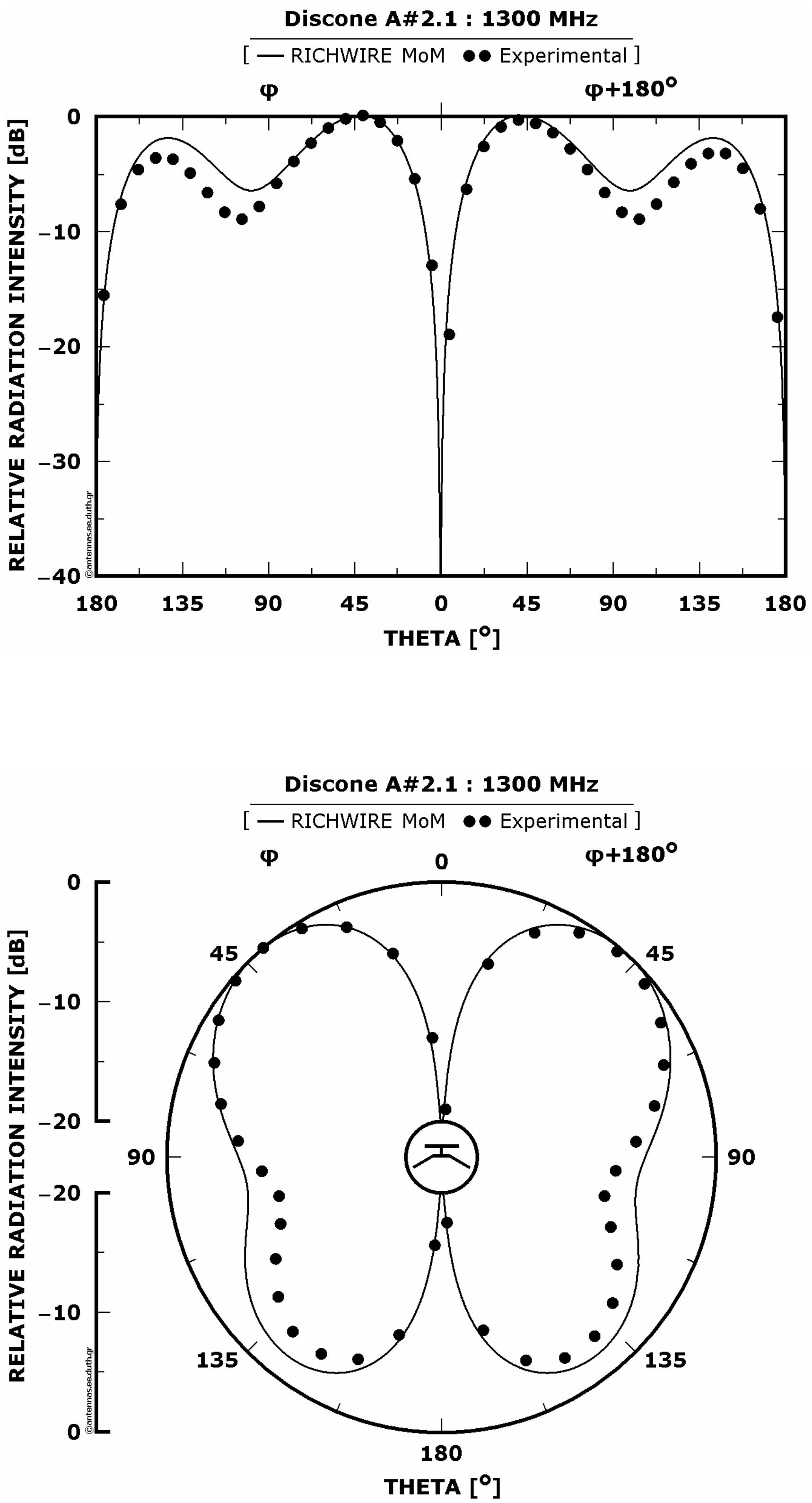


<u>Σχήμα 5.3.4.7</u>: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.

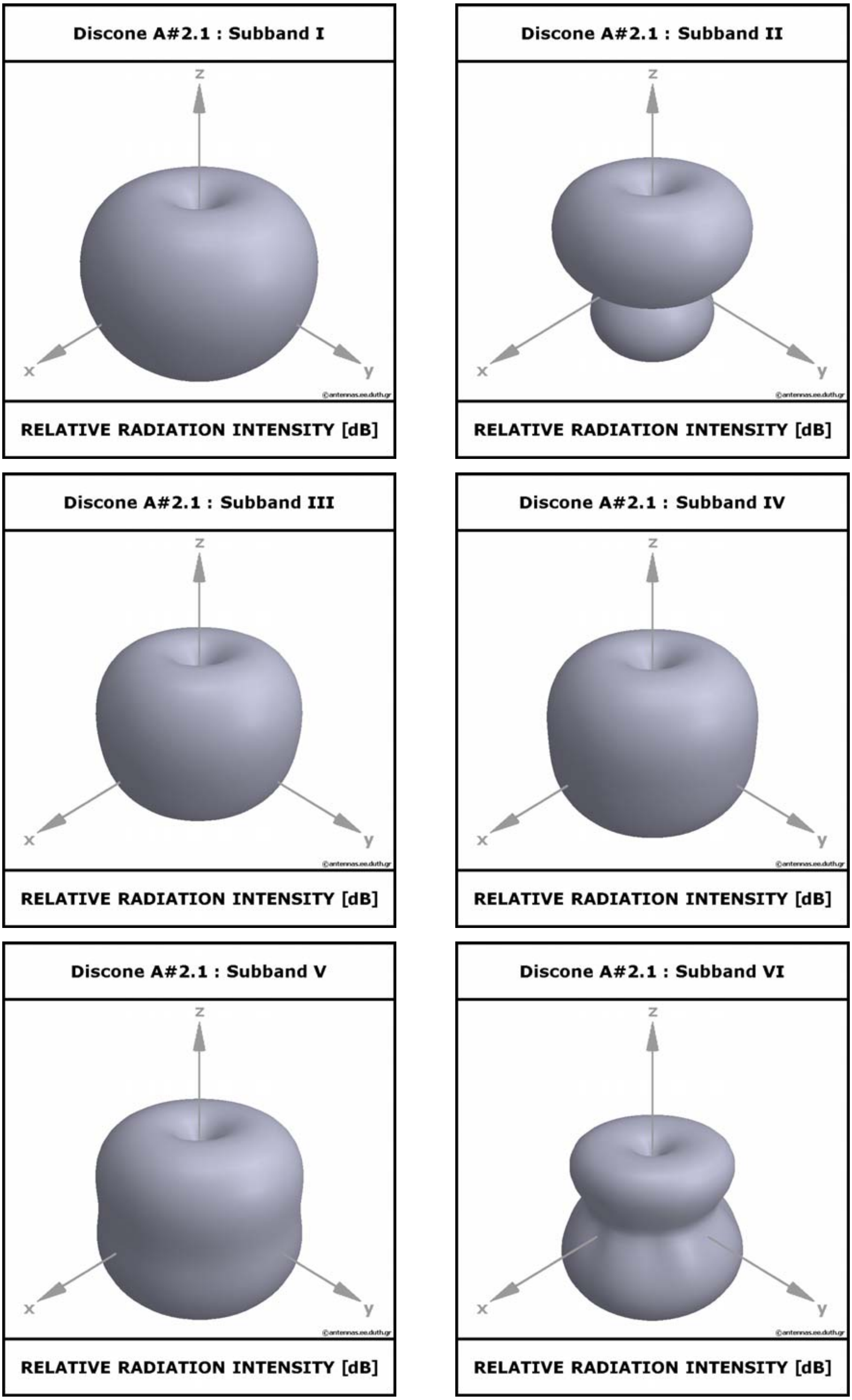




Σχήμα 5.3.4.8: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



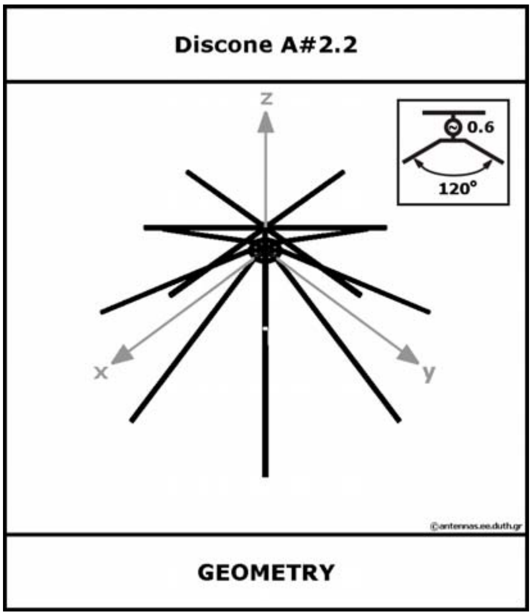
Σχήμα 5.3.4.9: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



Σχήμα 5.3.4.10: Σχετική ένταση ακτινοβολίας στην κεντρική συχνότητα κάθε υποζώνης.

5.3.5 : Discone A#2.2.

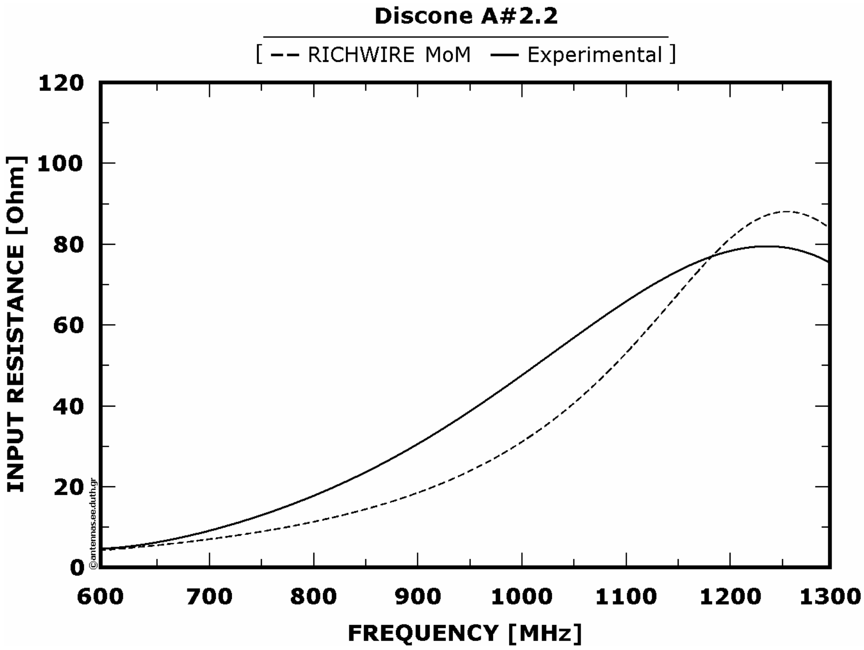
Τα χαρακτηριστικά της κεραίας δίνονται στον Πίνακα 5.3.5.1.



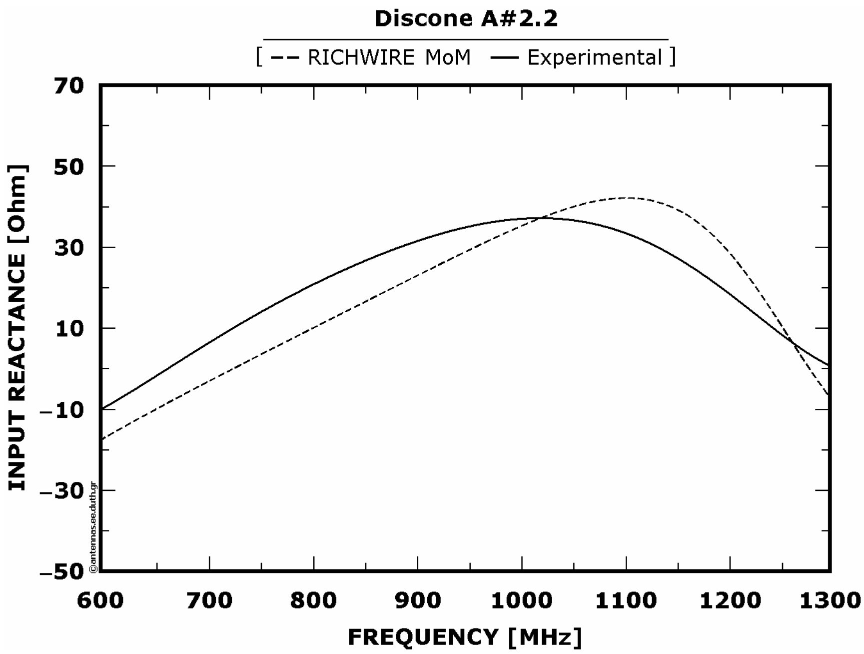
Σχήμα 5.3.5.1: Γεωμετρία της Discone A#2.2.

Πίνακας 5.3.5.1: Χαρακτηριστικά της κεραίας A#2.2.

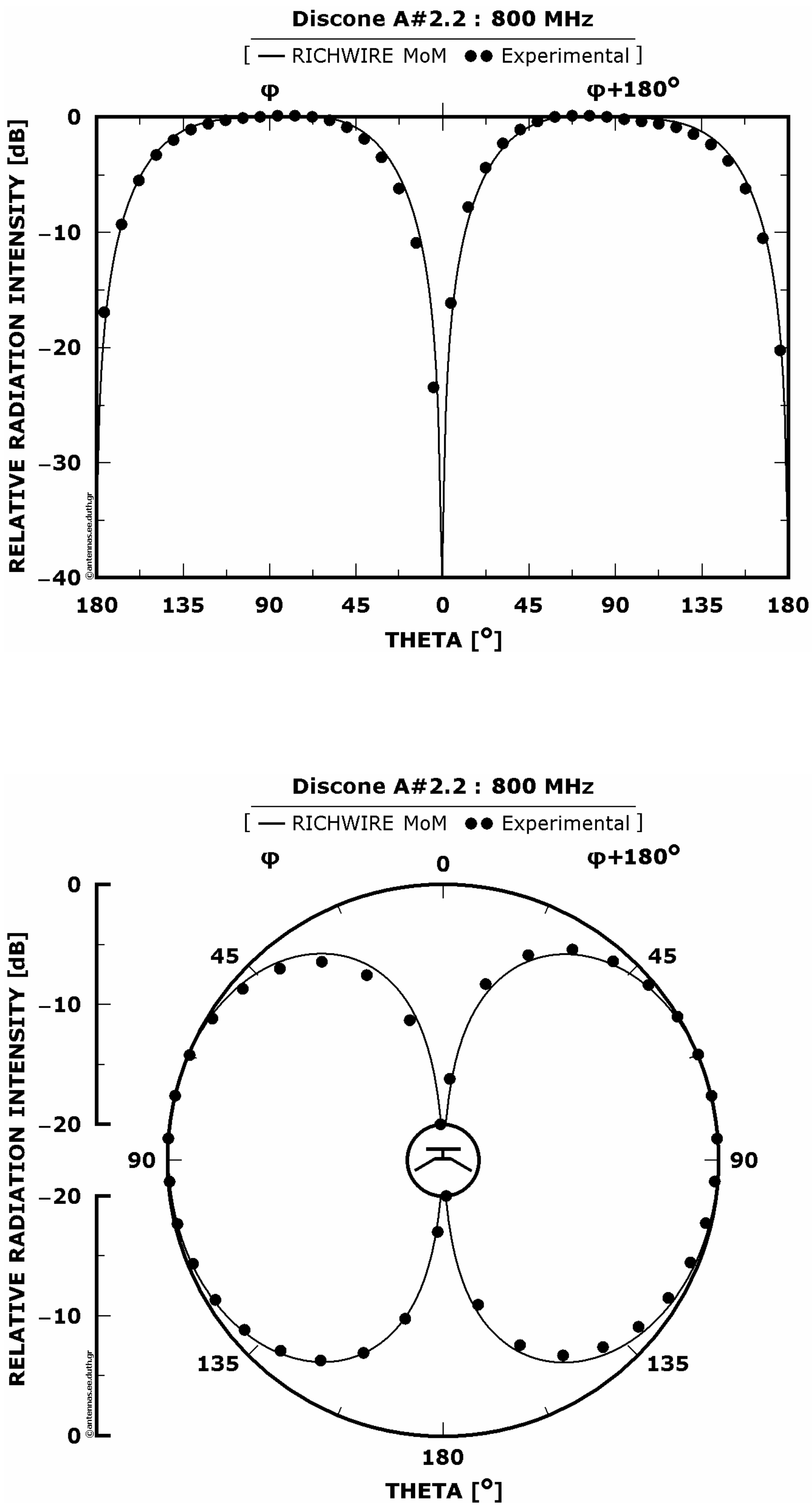
Αριθμός ακτίνων δίσκου	8
Αριθμός ακτίνων κώνου	8
Διάμετρος δίσκου D [cm]	15.2
Απόσταση δίσκου-κώνου s [cm]	0.6
Απόστημα κώνου L [cm]	12.5
Γωνία κώνου α [°]	120
Περιοχή συχνοτήτων προσομοίωσης [MHz]	[600, 2500]
Περιοχή συχνοτήτων μέτρησης [MHz]	[600, 1300]
Περιοχή συχνοτήτων με VSWR $\leq$ 2 [MHz]	[1170, 1610]
Κατευθυντικότητα [dBi]	[0.93, 5.04]



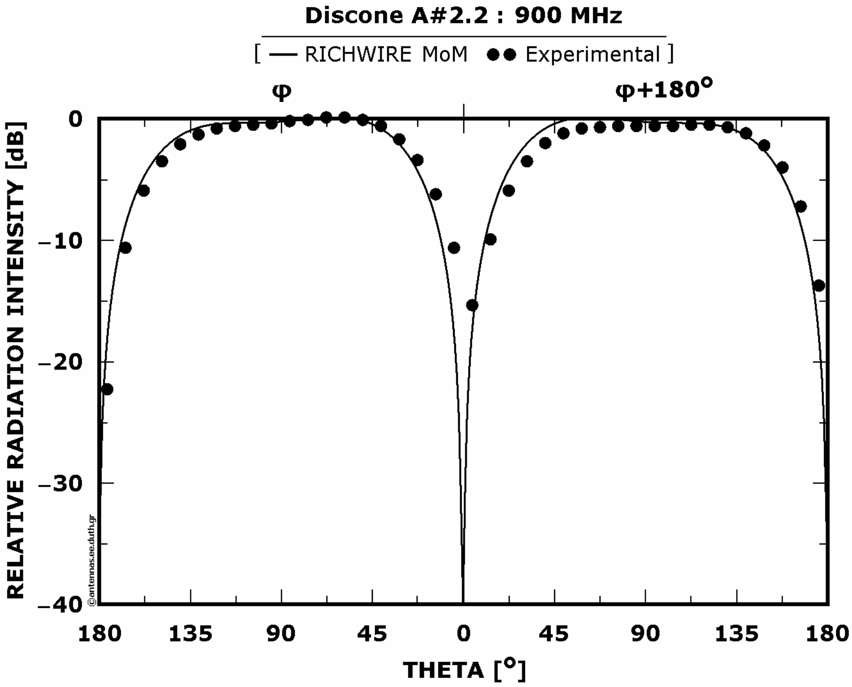
Σχήμα 5.3.5.2: Πραγματικό μέρος της σύνθετης αντίστασης εισόδου.

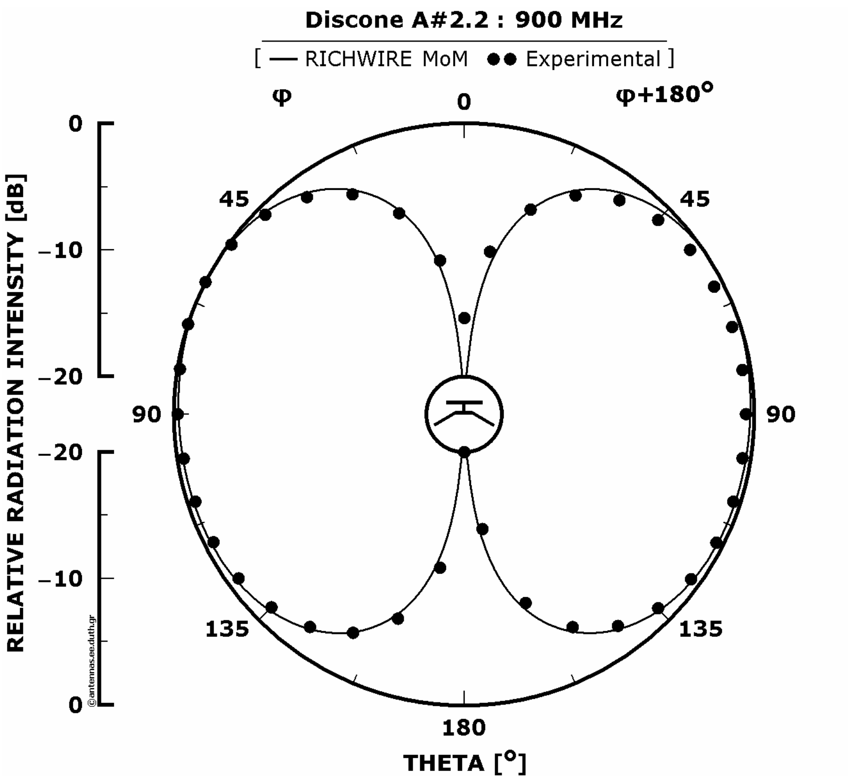


Σχήμα 5.3.5.3: Φανταστικό μέρος της σύνθετης αντίστασης εισόδου.

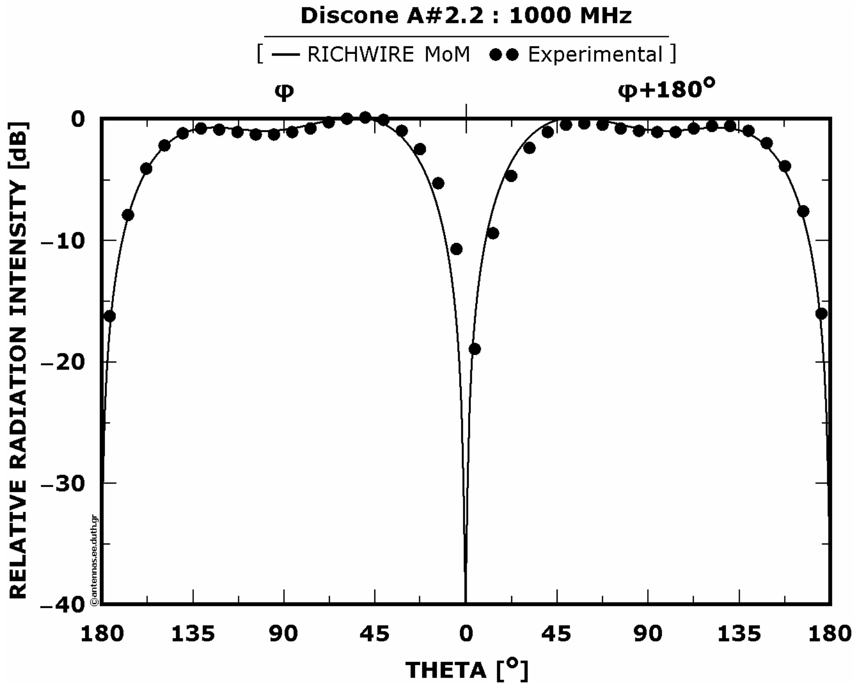


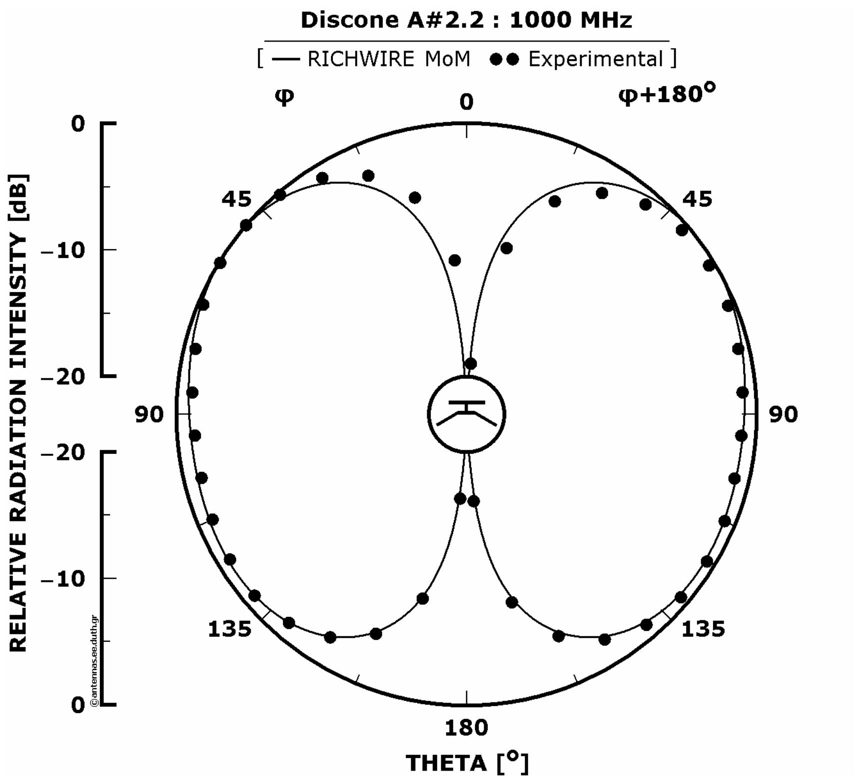
Σχήμα 5.3.5.4: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



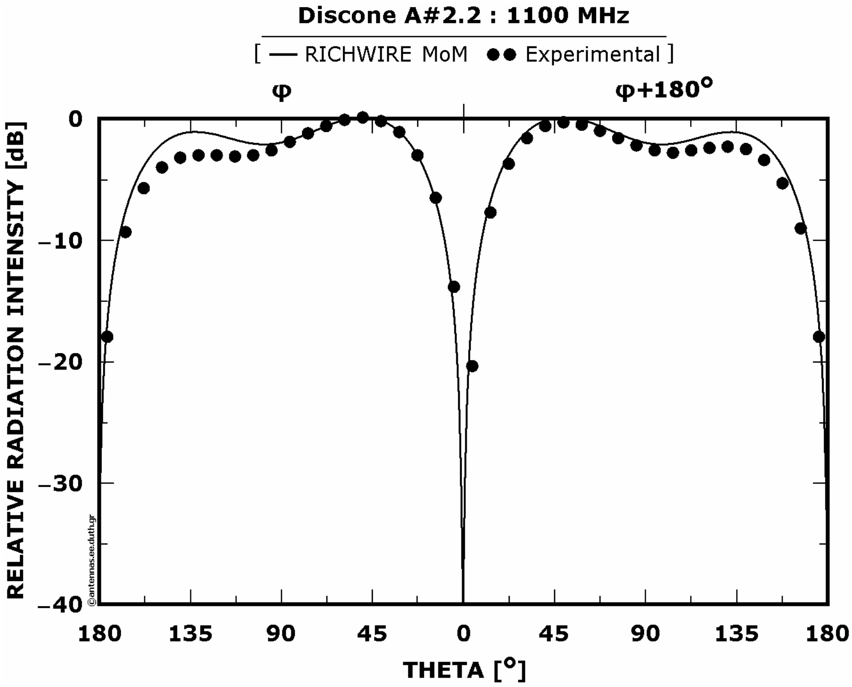


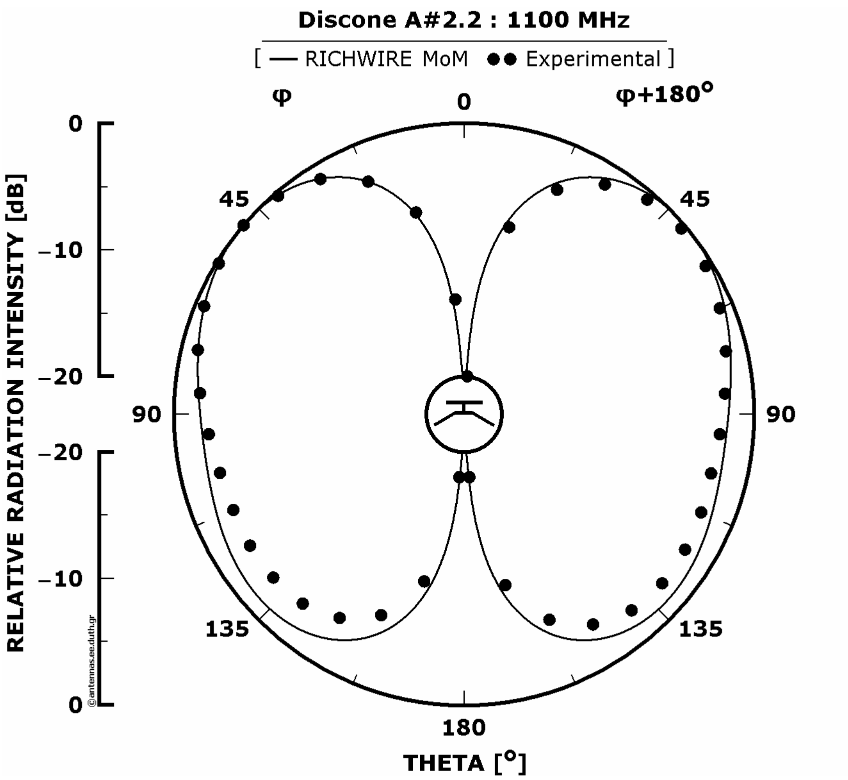
Σχήμα 5.3.5.5: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



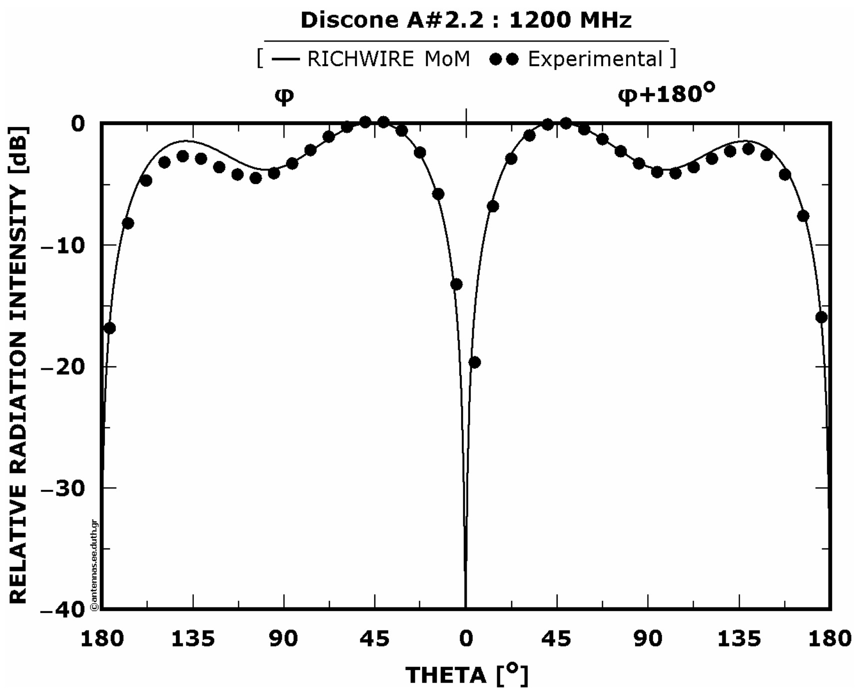


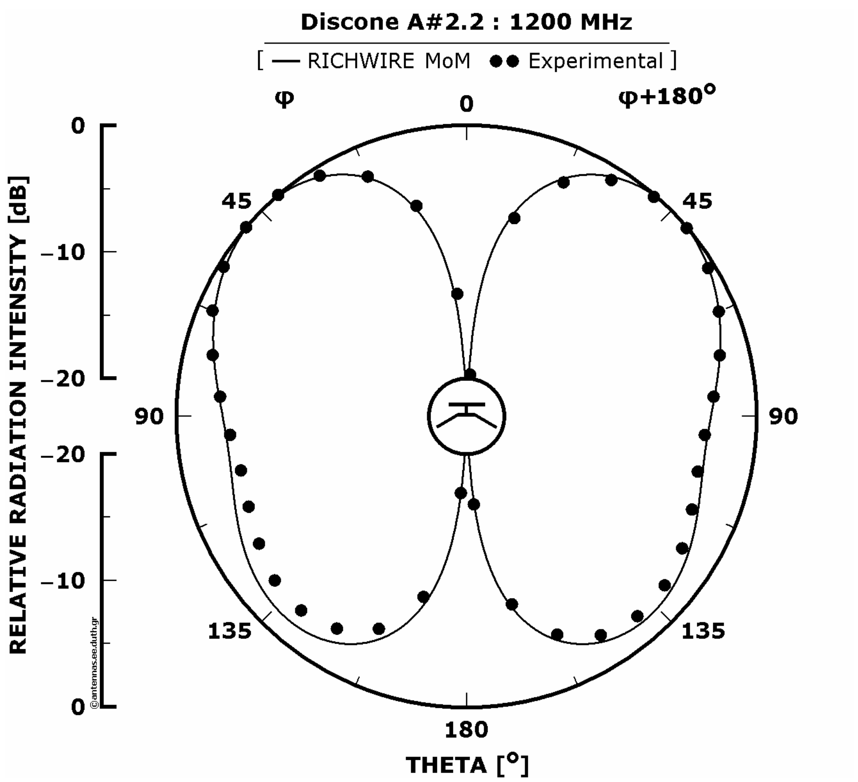
<u>Σχήμα 5.3.5.6</u>: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



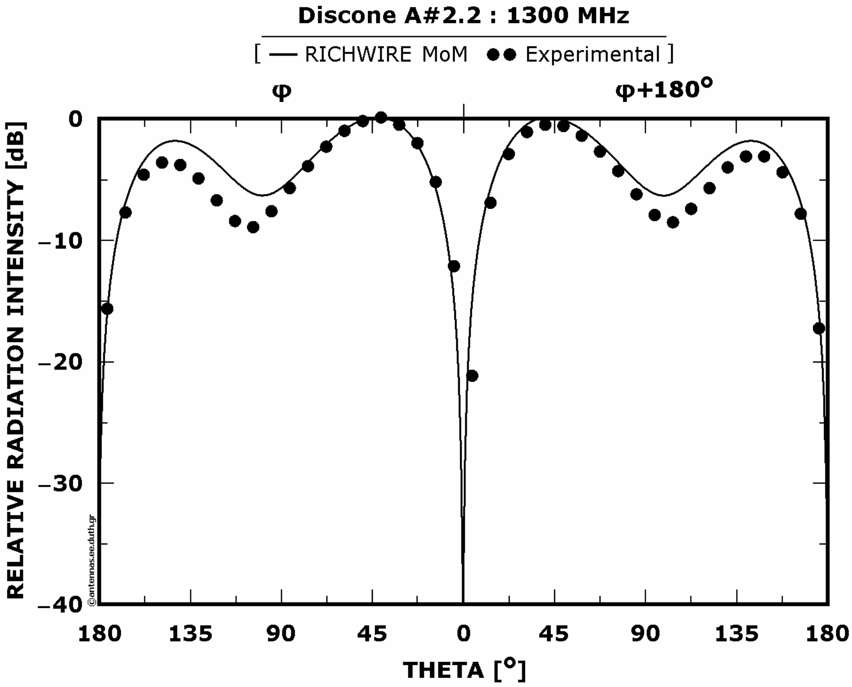


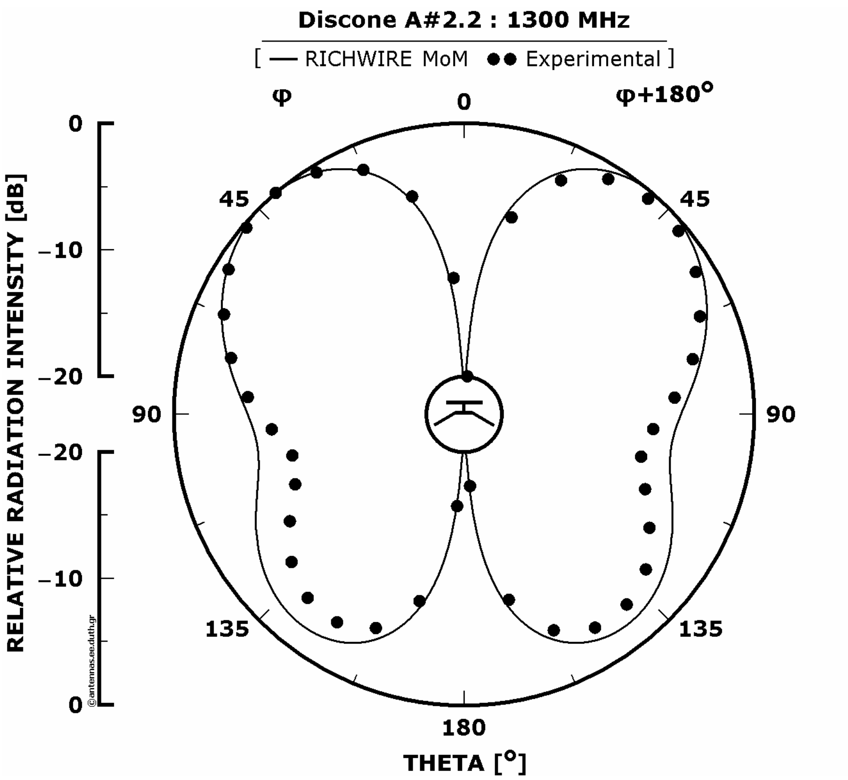
<u>Σχήμα 5.3.5.7</u>: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



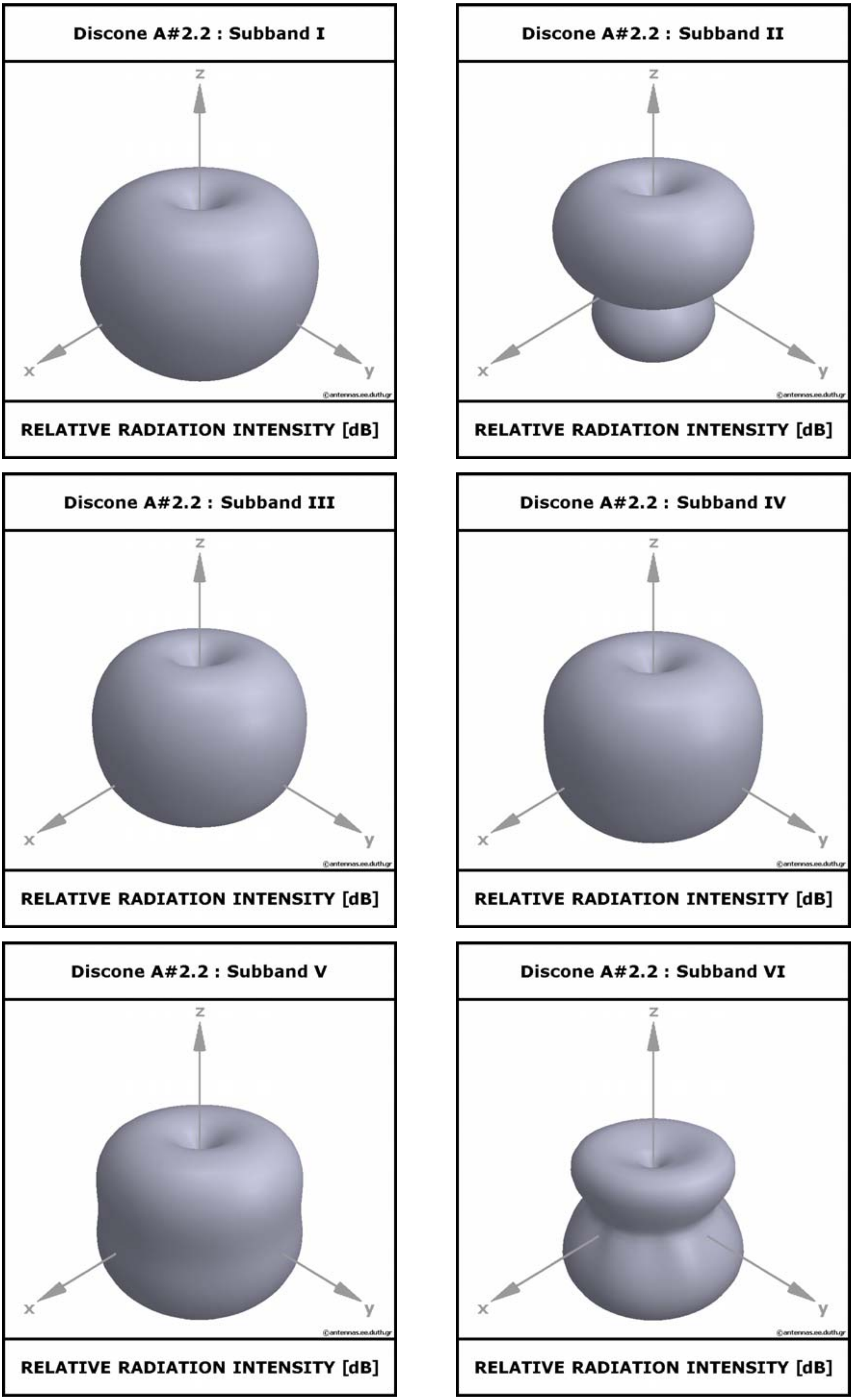


Σχήμα 5.3.5.8: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.





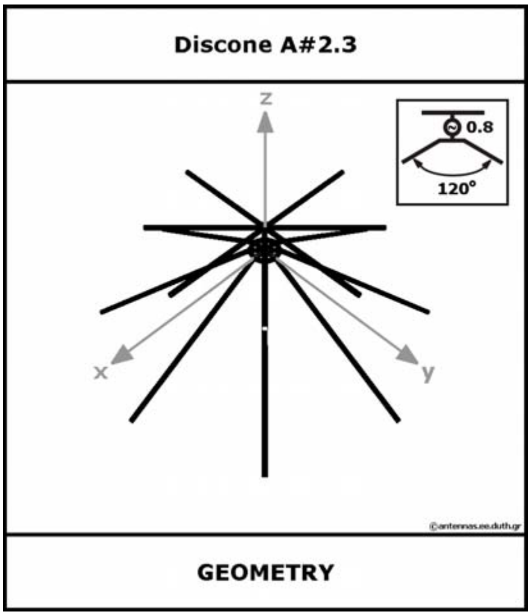
Σχήμα 5.3.5.9: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



Σχήμα 5.3.5.10: Σχετική ένταση ακτινοβολίας στην κεντρική συχνότητα κάθε υποζώνης.

5.3.6 : Discone A#2.3.

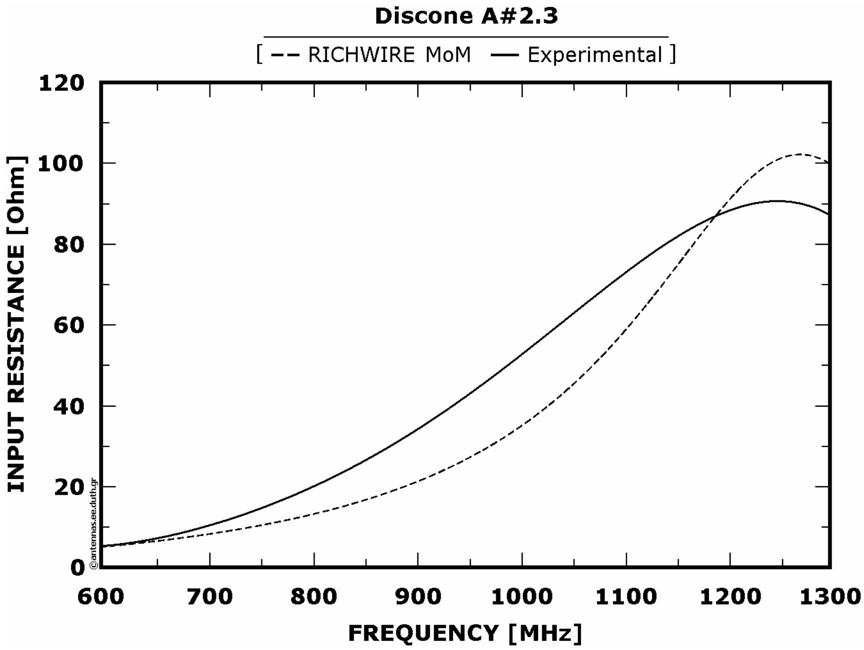
Τα χαρακτηριστικά της κεραίας δίνονται στον Πίνακα 5.3.6.1.



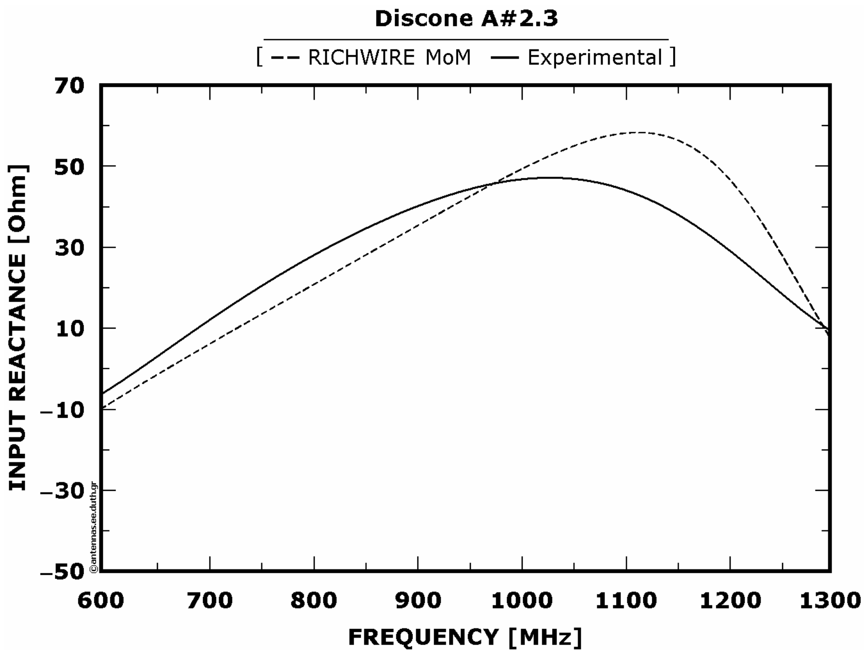
Σχήμα 5.3.6.1: Γεωμετρία της Discone A#2.3.

Πίνακας 5.3.6.1: Χαρακτηριστικά της κεραίας A#2.3.

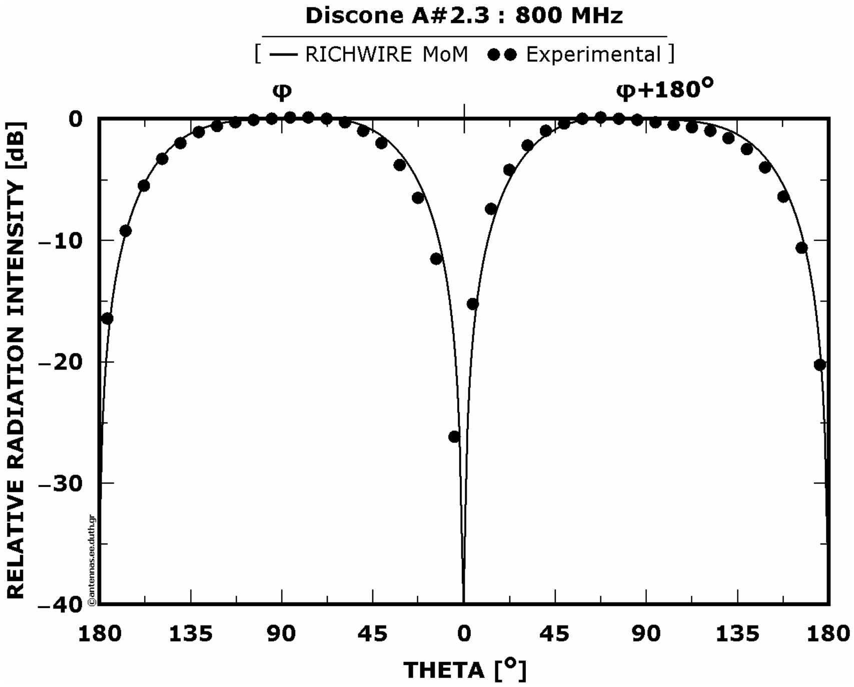
Αριθμός ακτίνων δίσκου	8
Αριθμός ακτίνων κώνου	8
Διάμετρος δίσκου D [cm]	15.2
Απόσταση δίσκου-κώνου s [cm]	0.8
Απόστημα κώνου L [cm]	12.5
Γωνία κώνου α [°]	120
Περιοχή συχνοτήτων προσομοίωσης [MHz]	[600, 2500]
Περιοχή συχνοτήτων μέτρησης [MHz]	[600, 1300]
Περιοχή συχνοτήτων με VSWR ≤ 2 [MHz]	[1300, 1610] ∧ [2370, 2470]
Κατευθυντικότητα [dBi]	[0.93, 5.15]

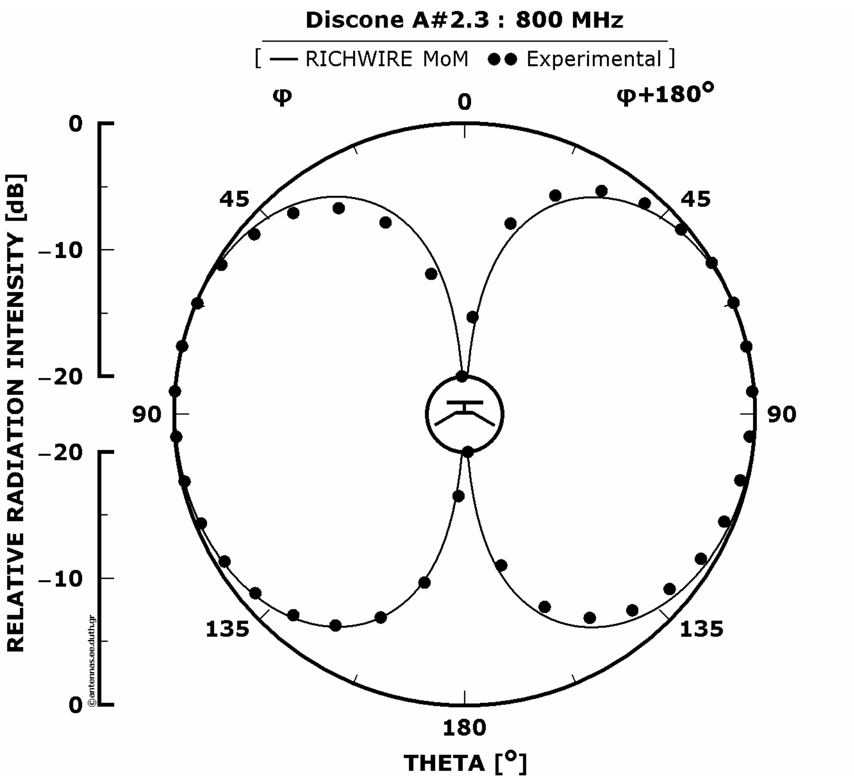


Σχήμα 5.3.6.2: Πραγματικό μέρος της σύνθετης αντίστασης εισόδου.

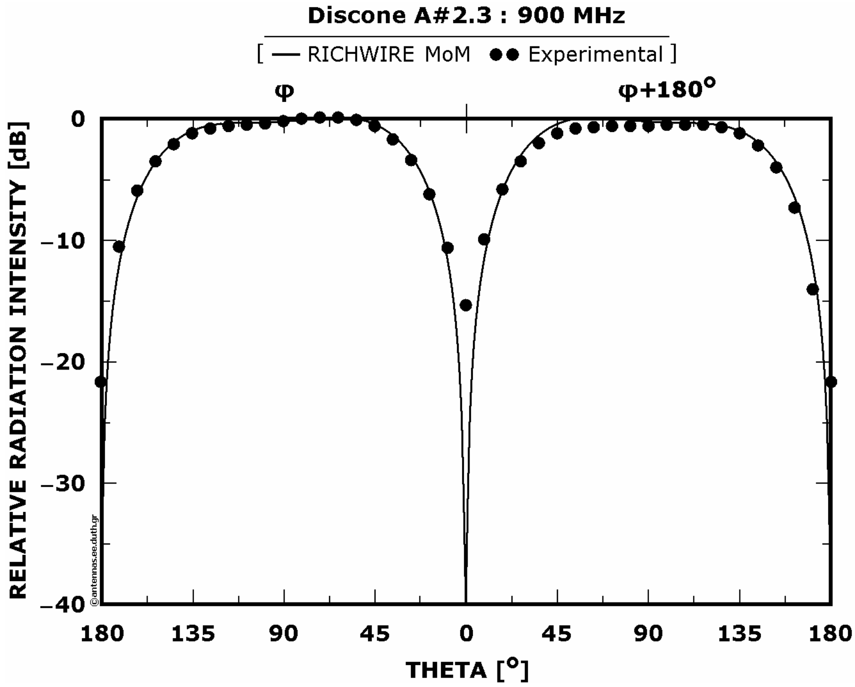


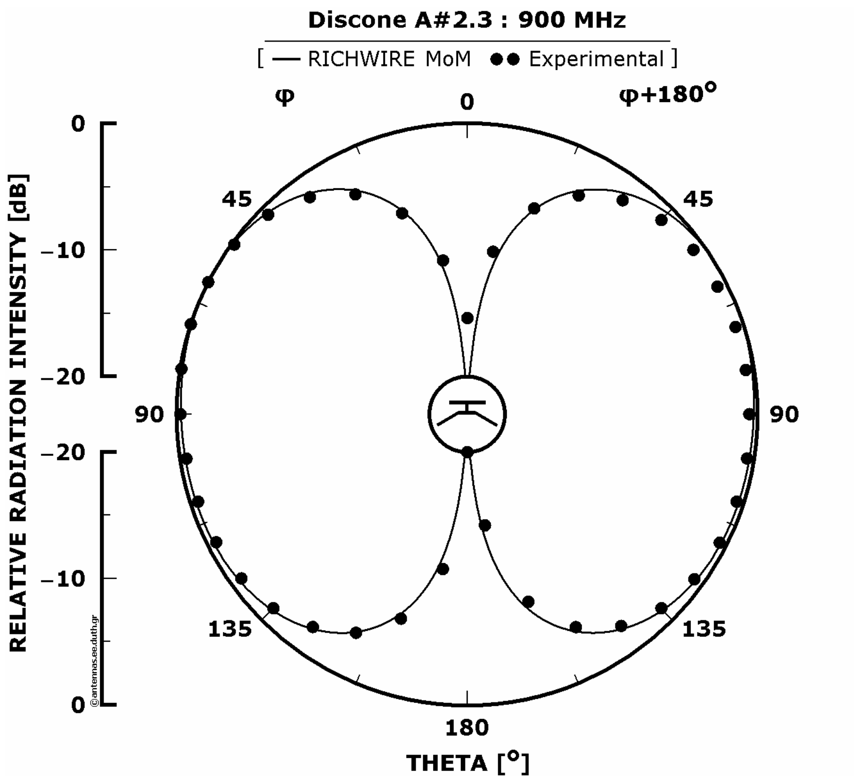
Σχήμα 5.3.6.3: Φανταστικό μέρος της σύνθετης αντίστασης εισόδου.



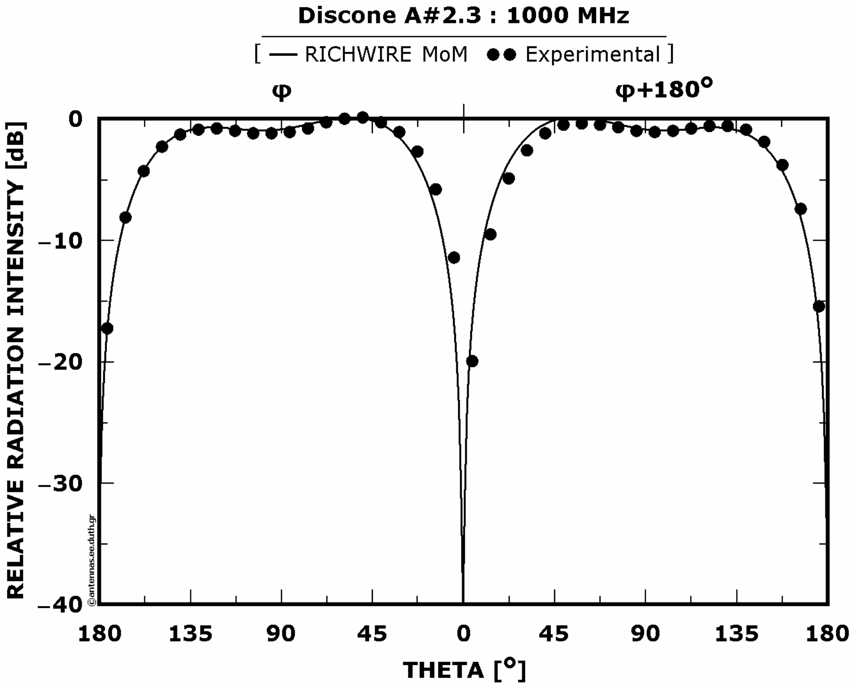


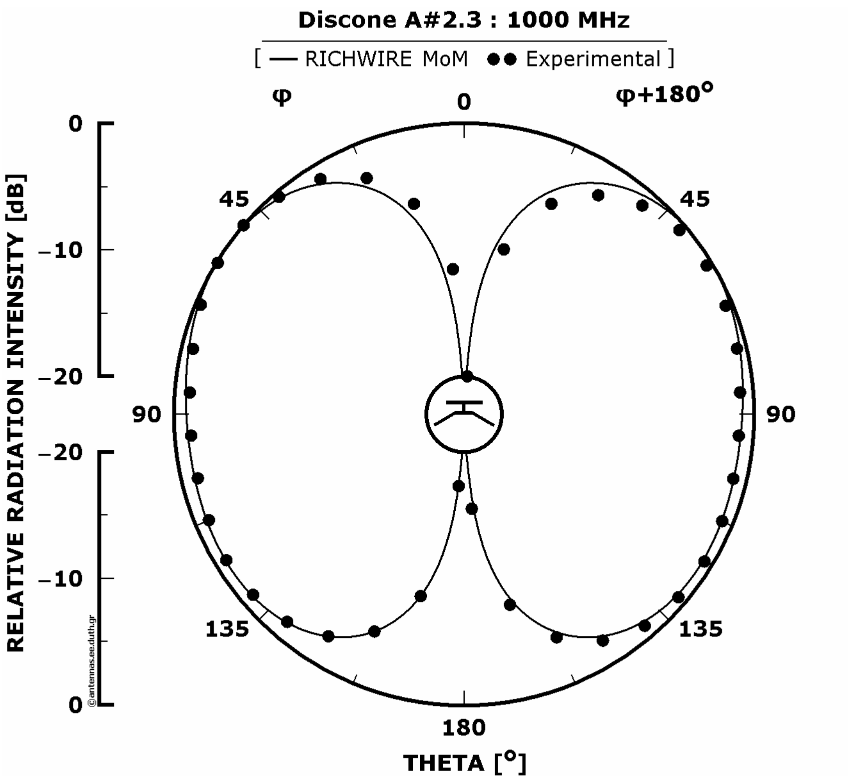
Σχήμα 5.3.6.4: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



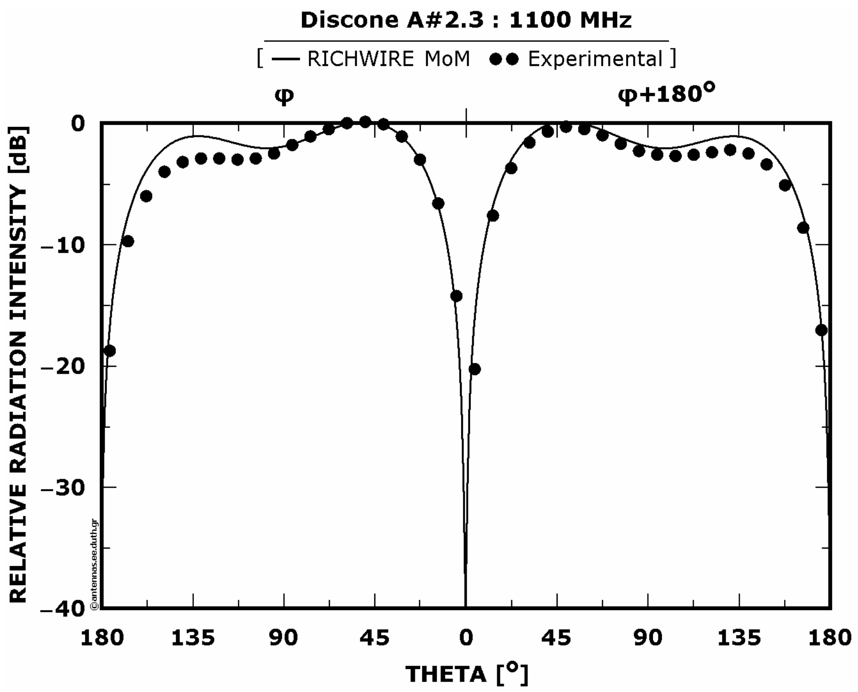


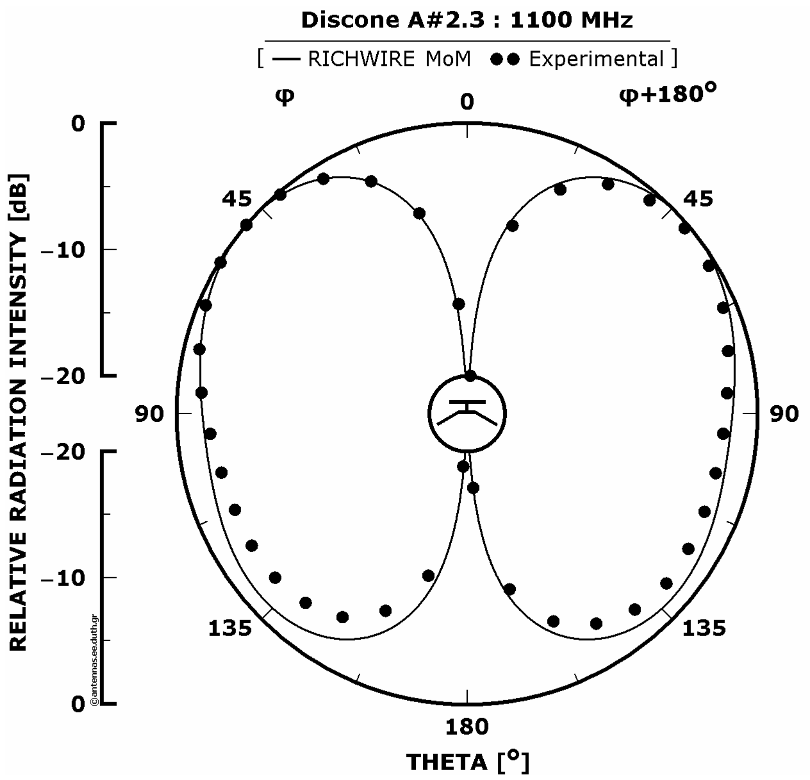
Σχήμα 5.3.6.5: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



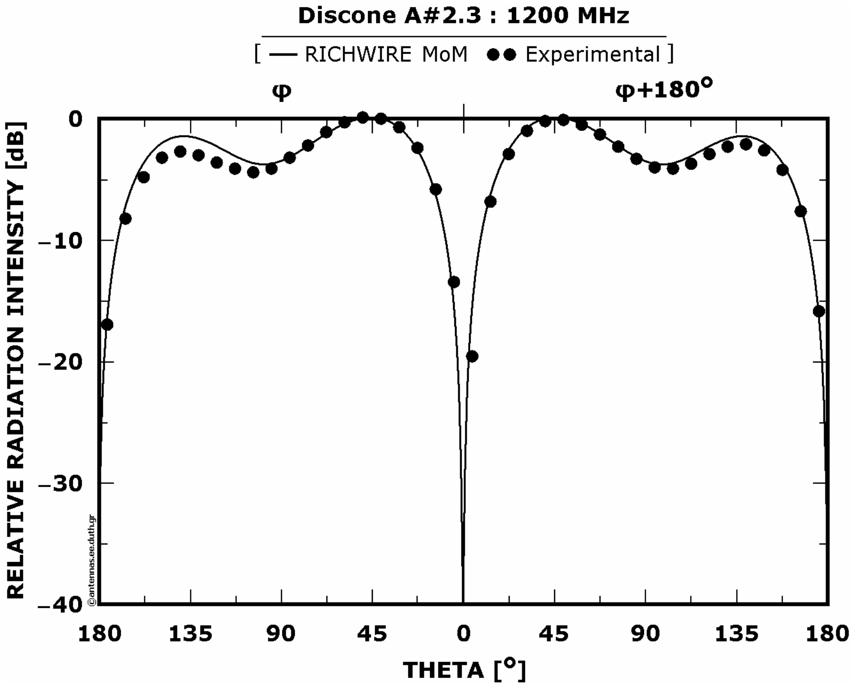


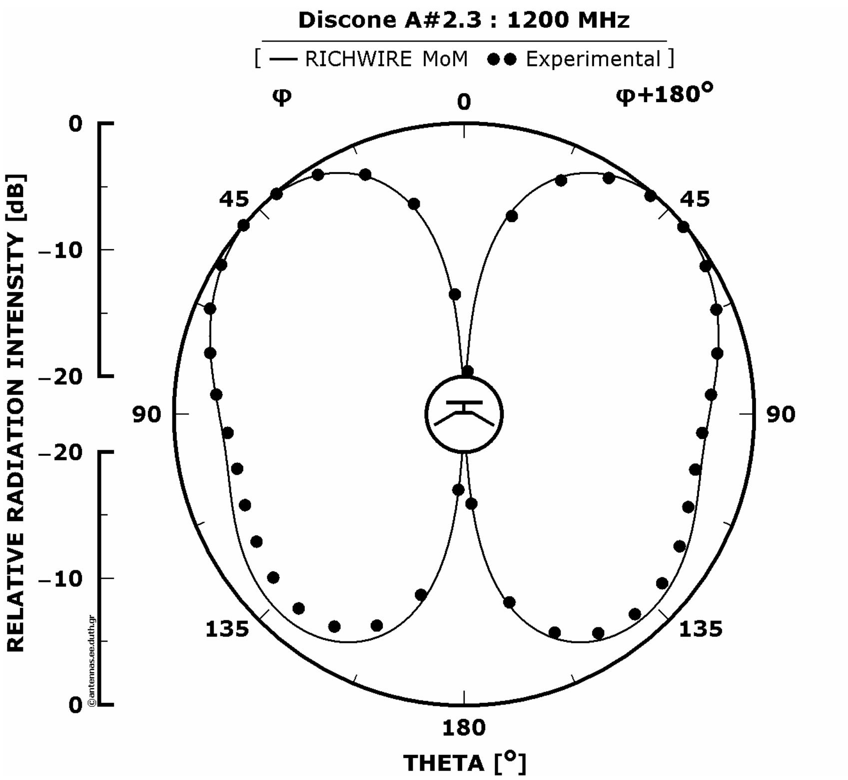
<u>Σχήμα 5.3.6.6</u>: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



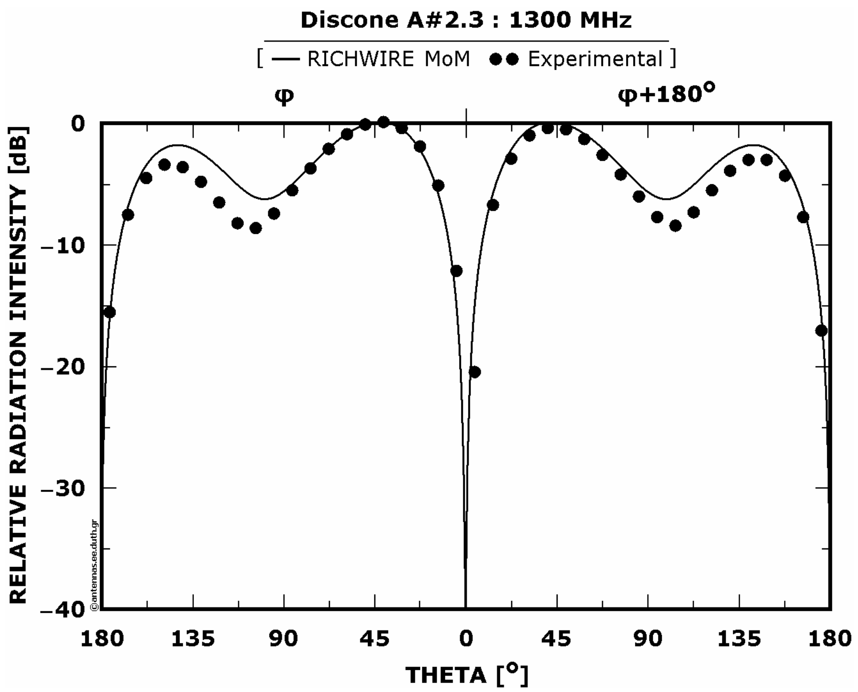


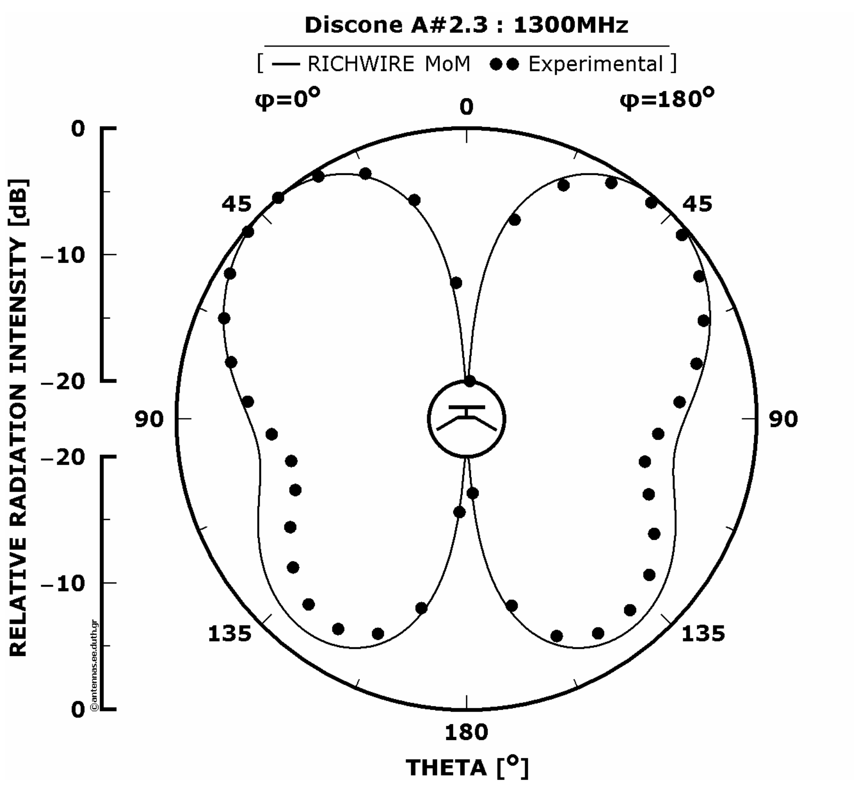
<u>Σχήμα 5.3.6.7</u>: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



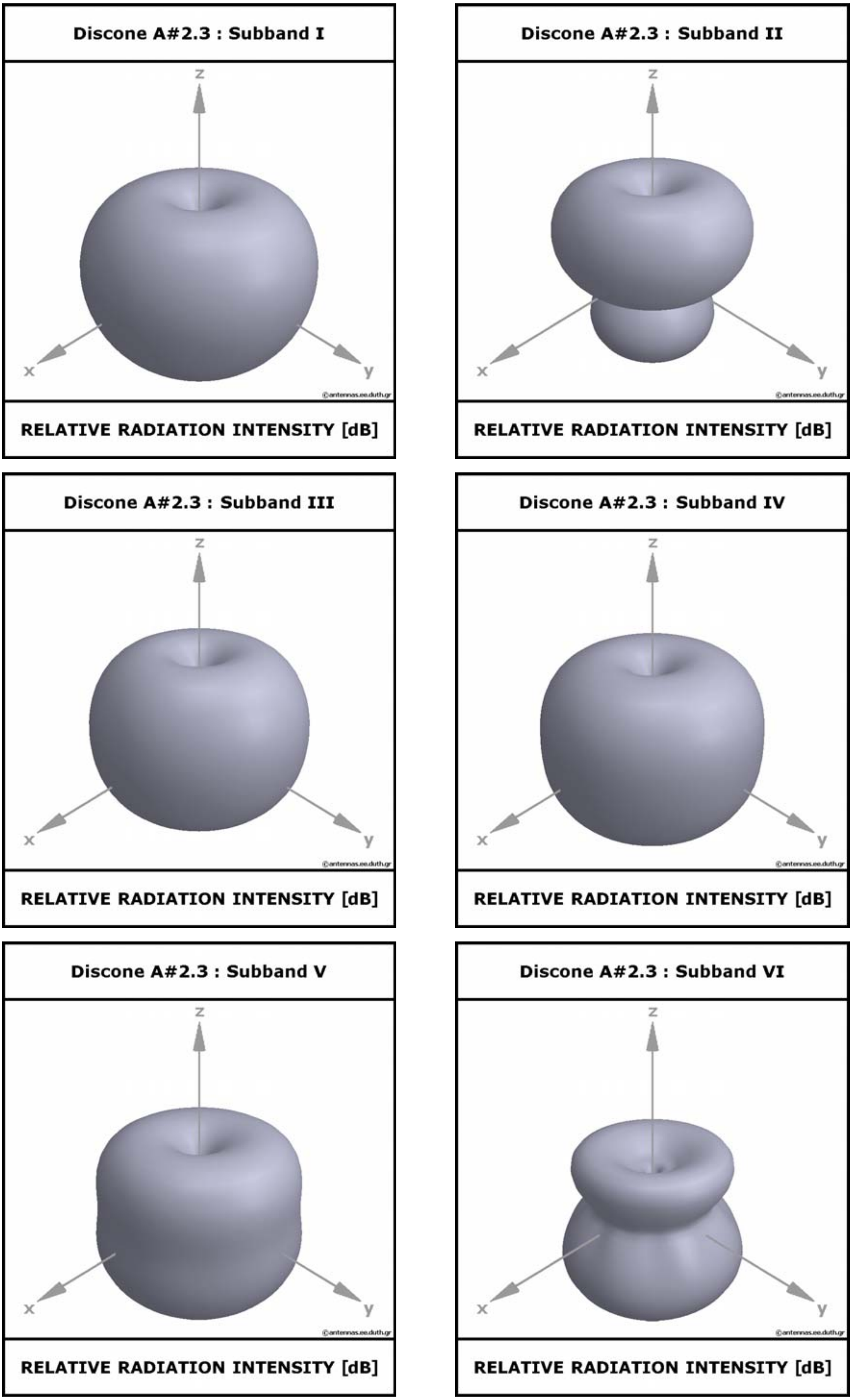


Σχήμα 5.3.6.8: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.





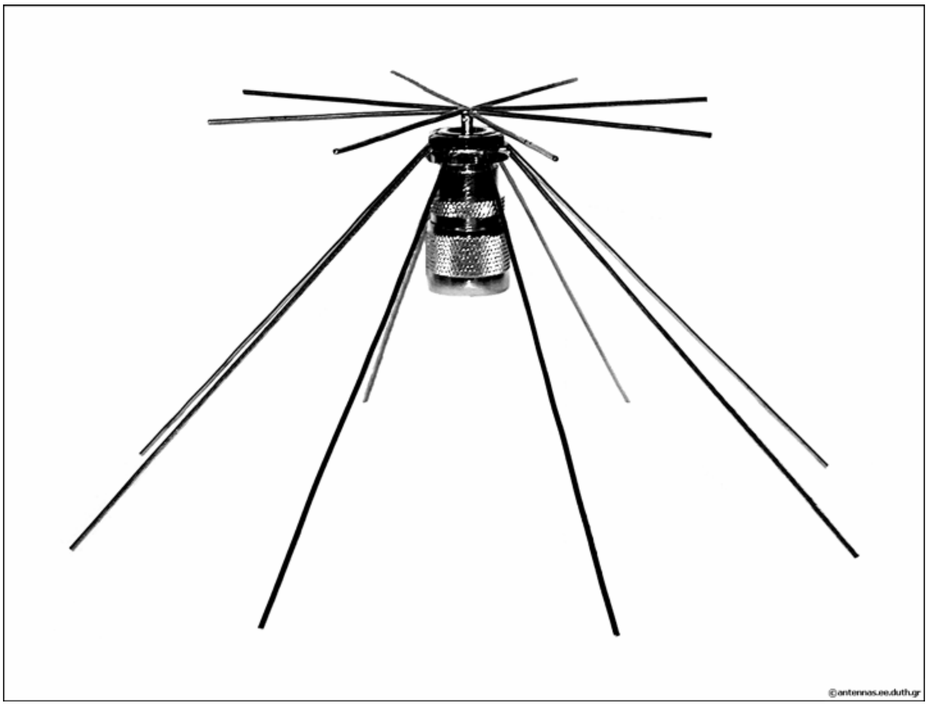
Σχήμα 5.3.6.9: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



Σχήμα 5.3.6.10: Σχετική ένταση ακτινοβολίας στην κεντρική συχνότητα κάθε υποζώνης.

5.4 : Κατασκευές Ομάδας Β.

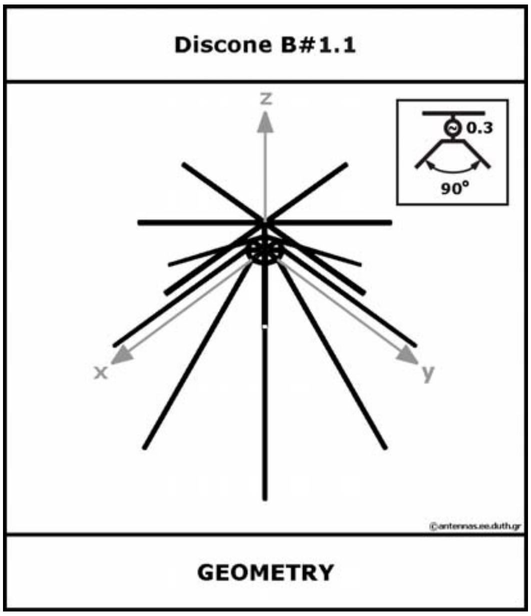
Οι κεραίες Skeleton Discone της ομάδας αυτής κατατάσσονται σε δύο υποομάδες με κύριο χαρακτηριστικό της κάθε υποομάδας το μήκος της διαμέτρου του δίσκου. Έτσι, στην πρώτη υποομάδα η διάμετρος του δίσκου είναι 13.2cm ενώ στην δεύτερη είναι 12.4cm. Στο Σχήμα 5.4.1 φαίνεται μια Skeleton Discone της ομάδας Β.



Σχήμα 5.4.1: Discone ομάδας Β.

5.4.1 : Discone B#1.1.

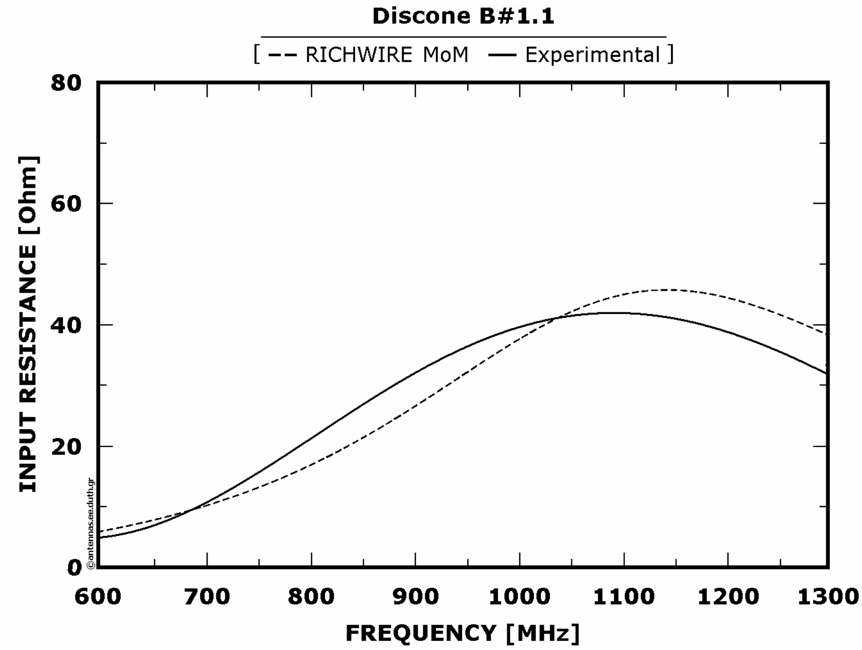
Τα χαρακτηριστικά της κεραίας δίνονται στον Πίνακα 5.4.1.1.



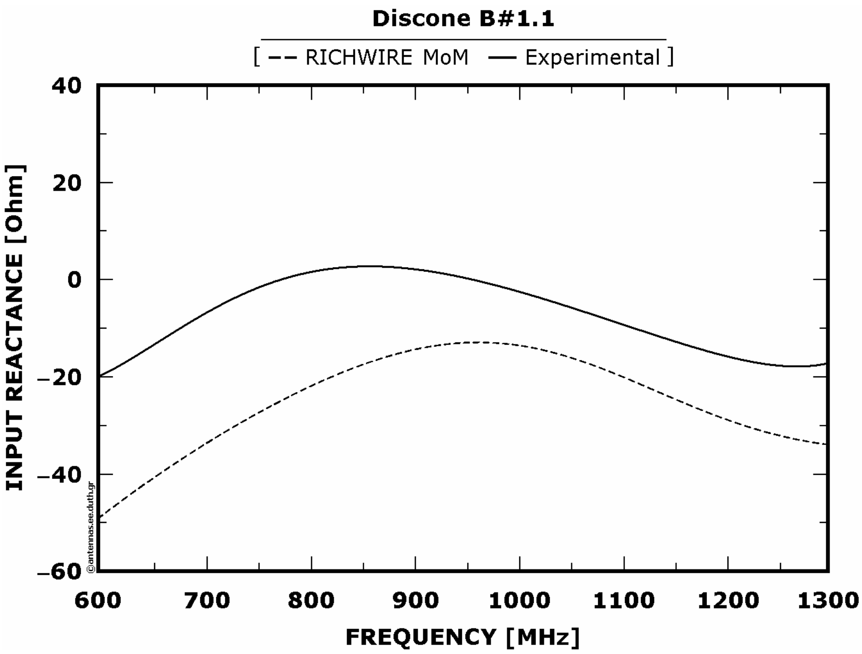
Σχήμα 5.4.1.1: Γεωμετρία της Discone B#1.1.

Πίνακας 5.4.1.1: Χαρακτηριστικά της κεραίας B#1.1.

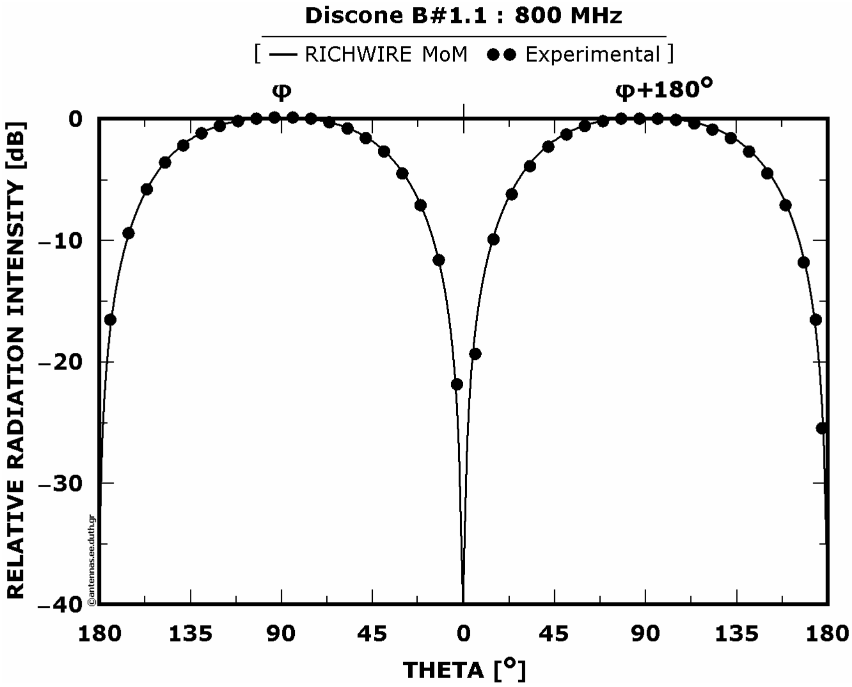
Αριθμός ακτίνων δίσκου	8
Αριθμός ακτίνων κώνου	8
Διάμετρος δίσκου D [cm]	13.2
Απόσταση δίσκου-κώνου s [cm]	0.3
Απόστημα κώνου L [cm]	12.5
Γωνία κώνου α [°]	90
Περιοχή συχνοτήτων προσομοίωσης [MHz]	[600, 2500]
Περιοχή συχνοτήτων μέτρησης [MHz]	[600, 1300]
Περιοχή συχνοτήτων με VSWR ≤ 2 [MHz]	[900, 1240] ∧ [1870, 2060]
Κατευθυντικότητα [dBi]	[0.82, 3.78]

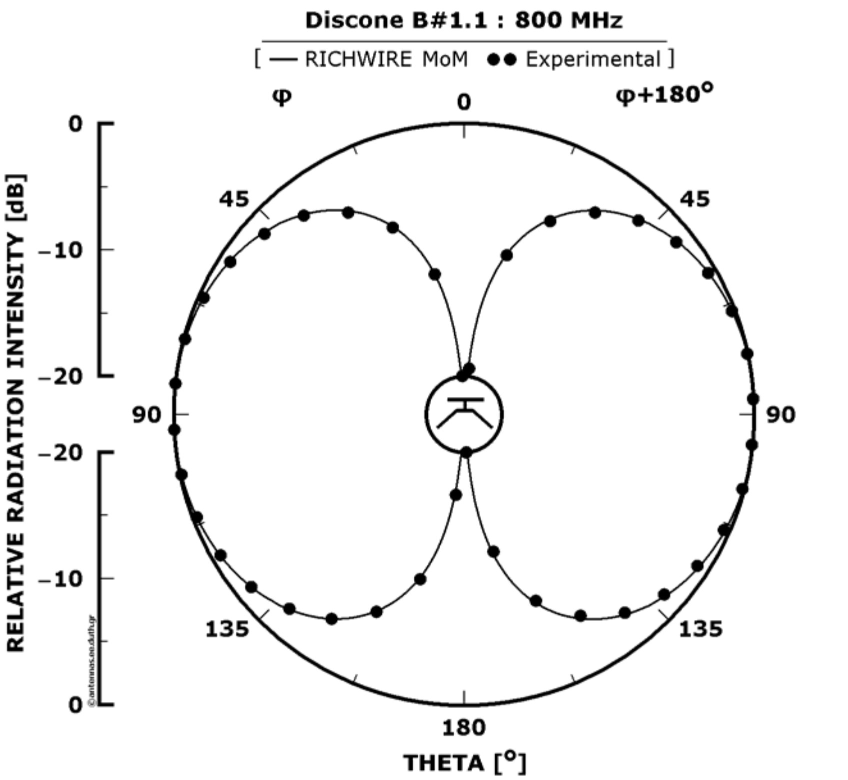


Σχήμα 5.4.1.2: Πραγματικό μέρος της σύνθετης αντίστασης εισόδου.

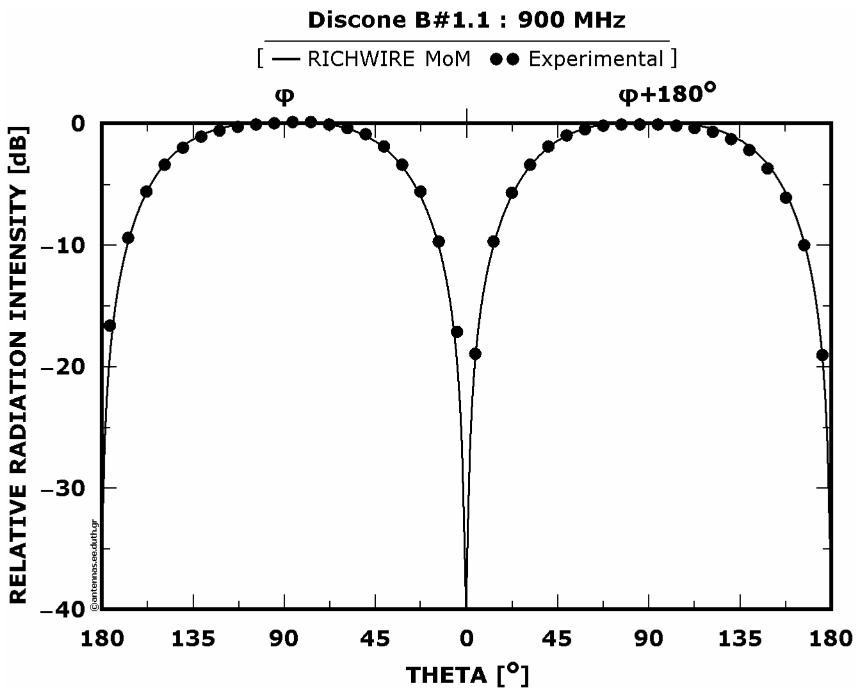


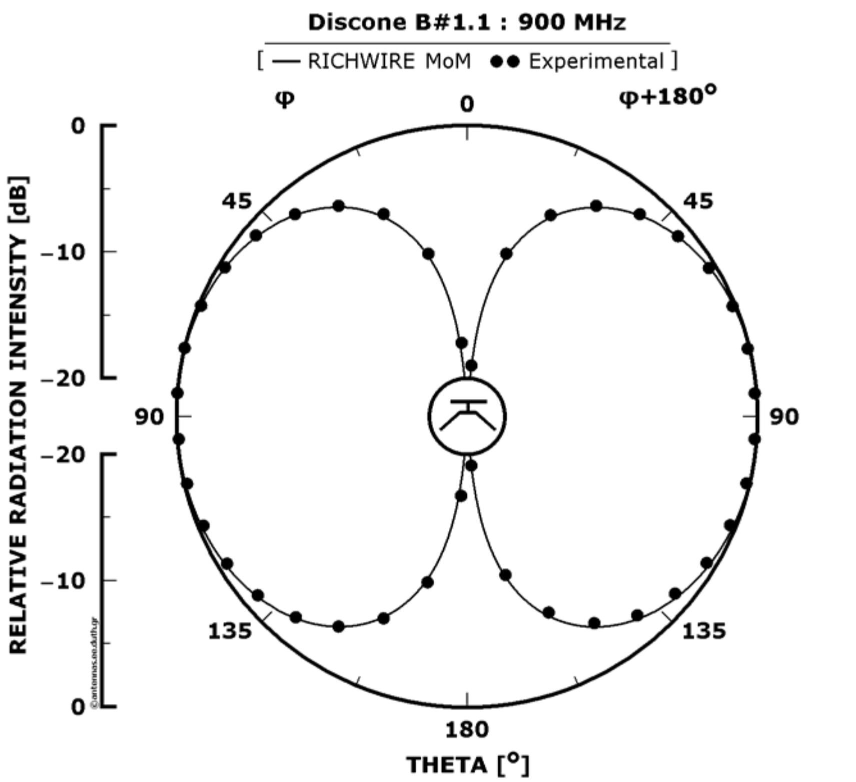
Σχήμα 5.4.1.3: Φανταστικό μέρος της σύνθετης αντίστασης εισόδου.



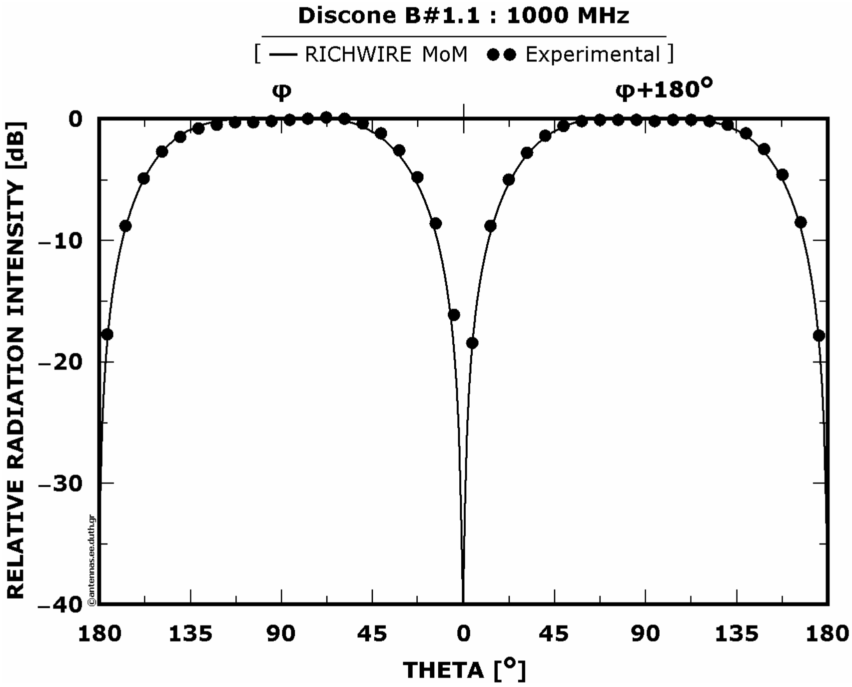


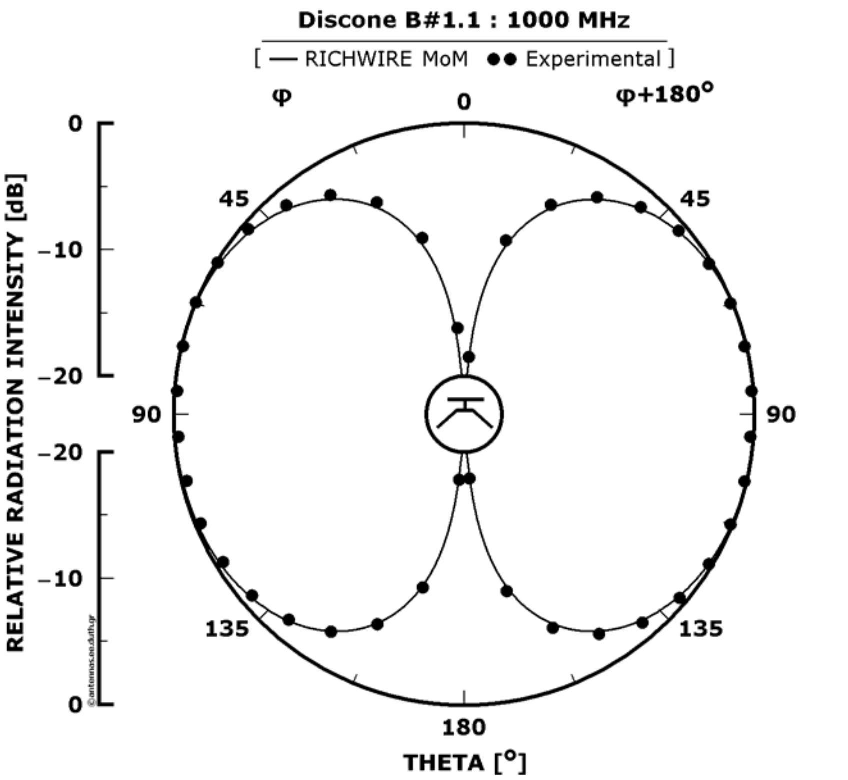
Σχήμα 5.4.1.4: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



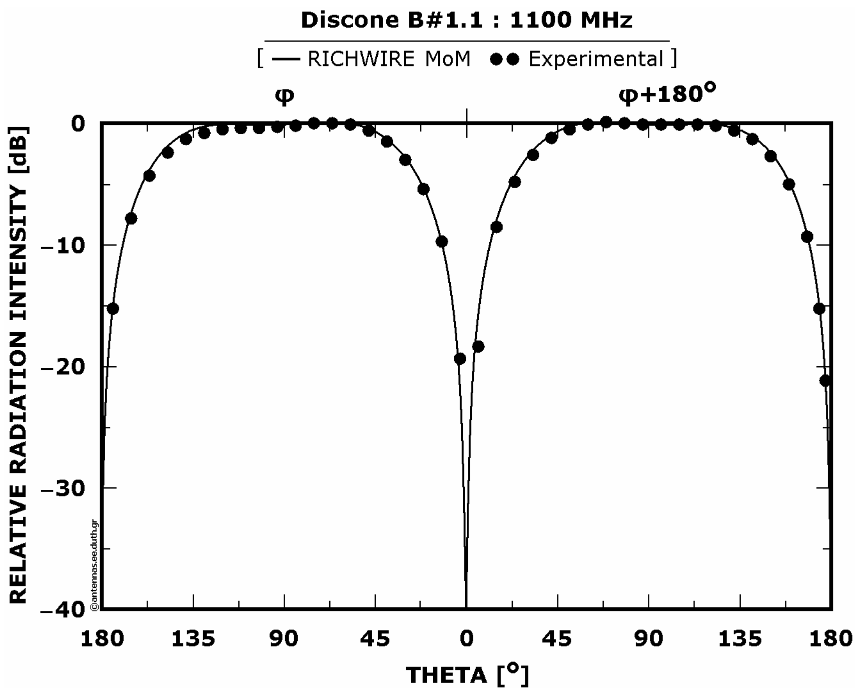


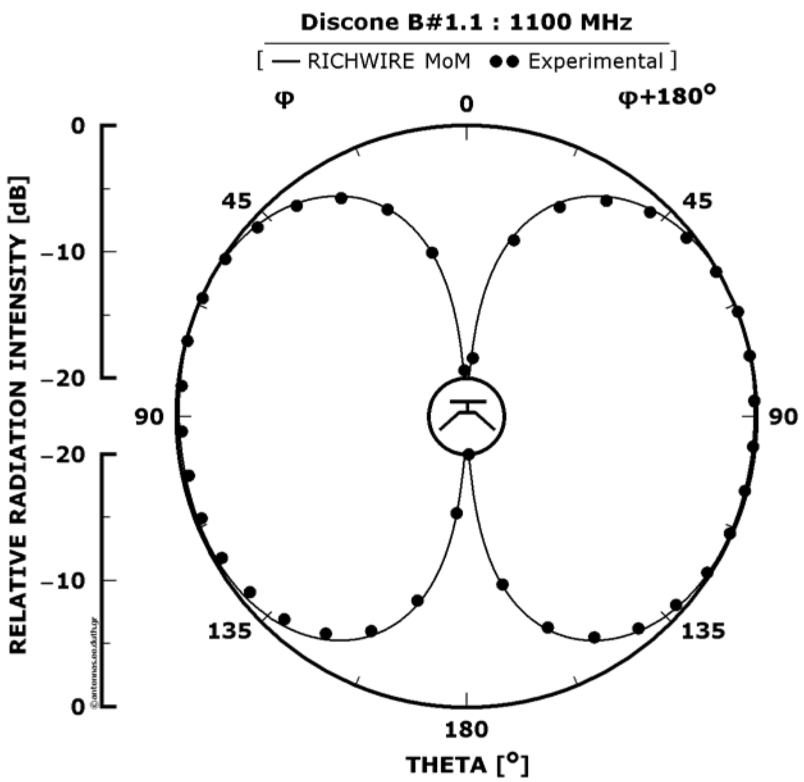
Σχήμα 5.4.1.5: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



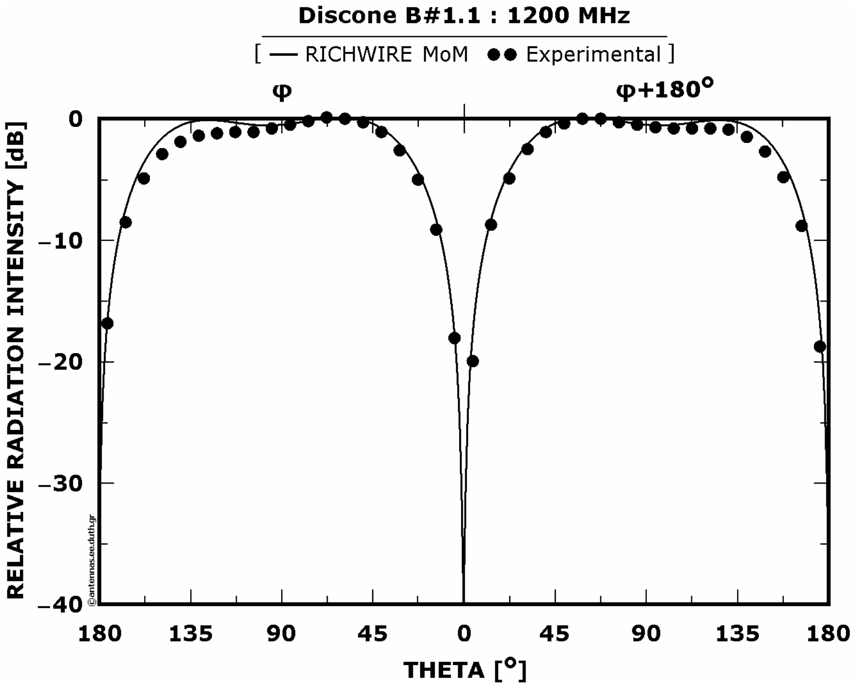


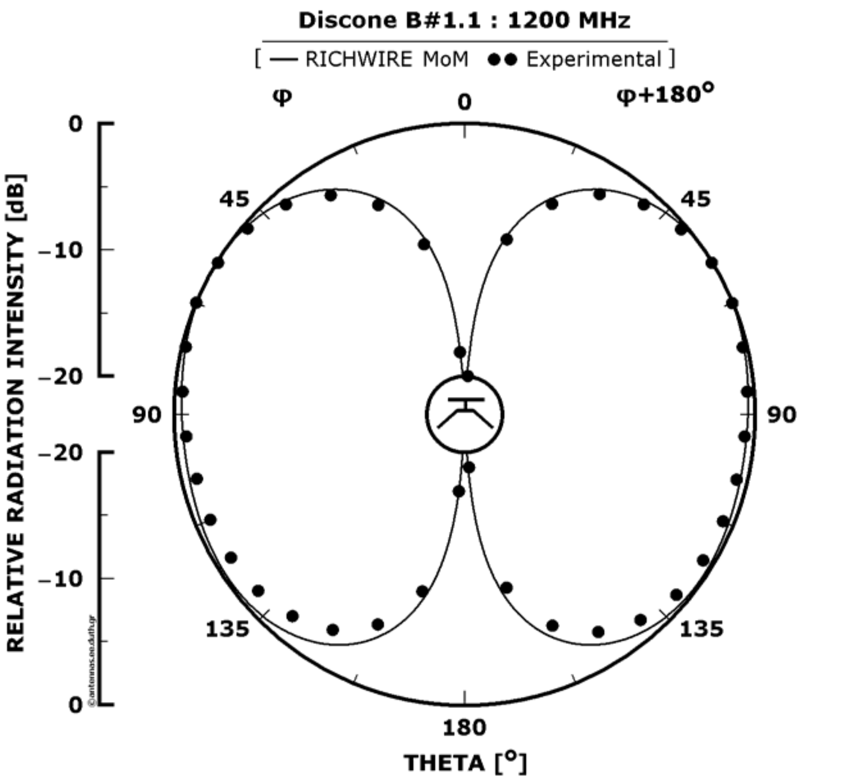
Σχήμα 5.4.1.6: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



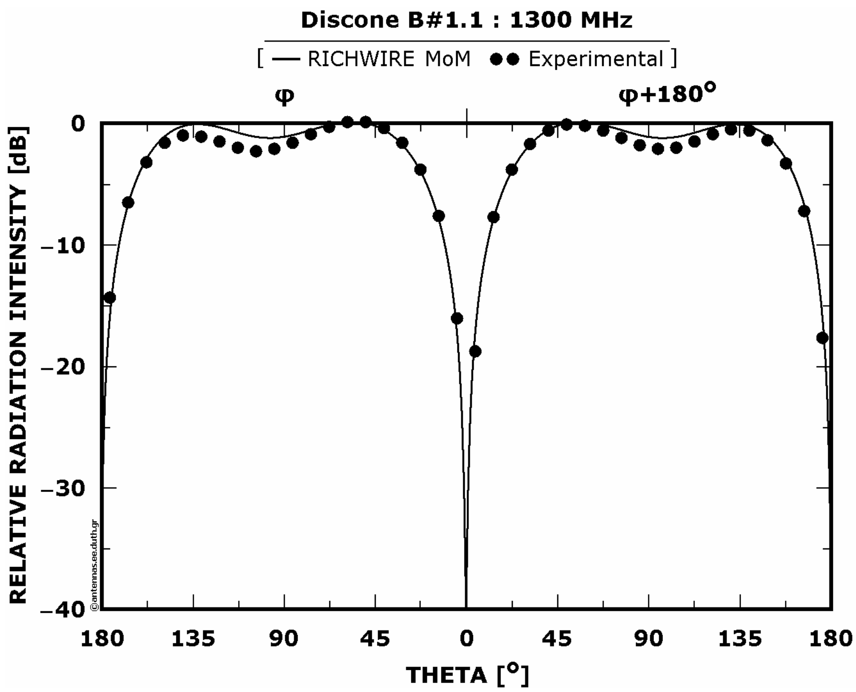


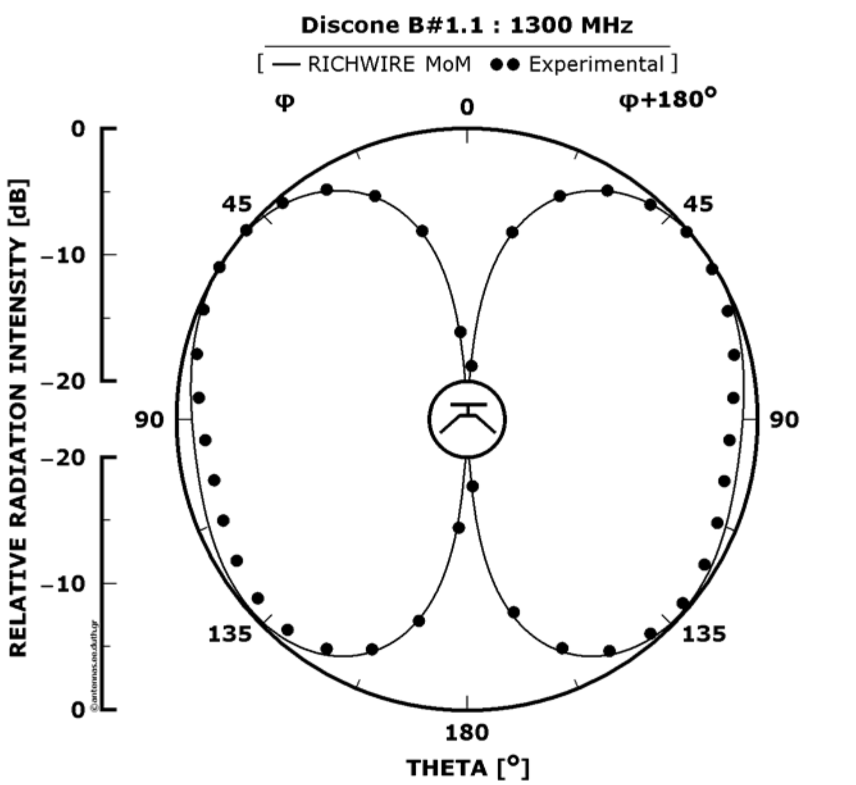
Σχήμα 5.4.1.7: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



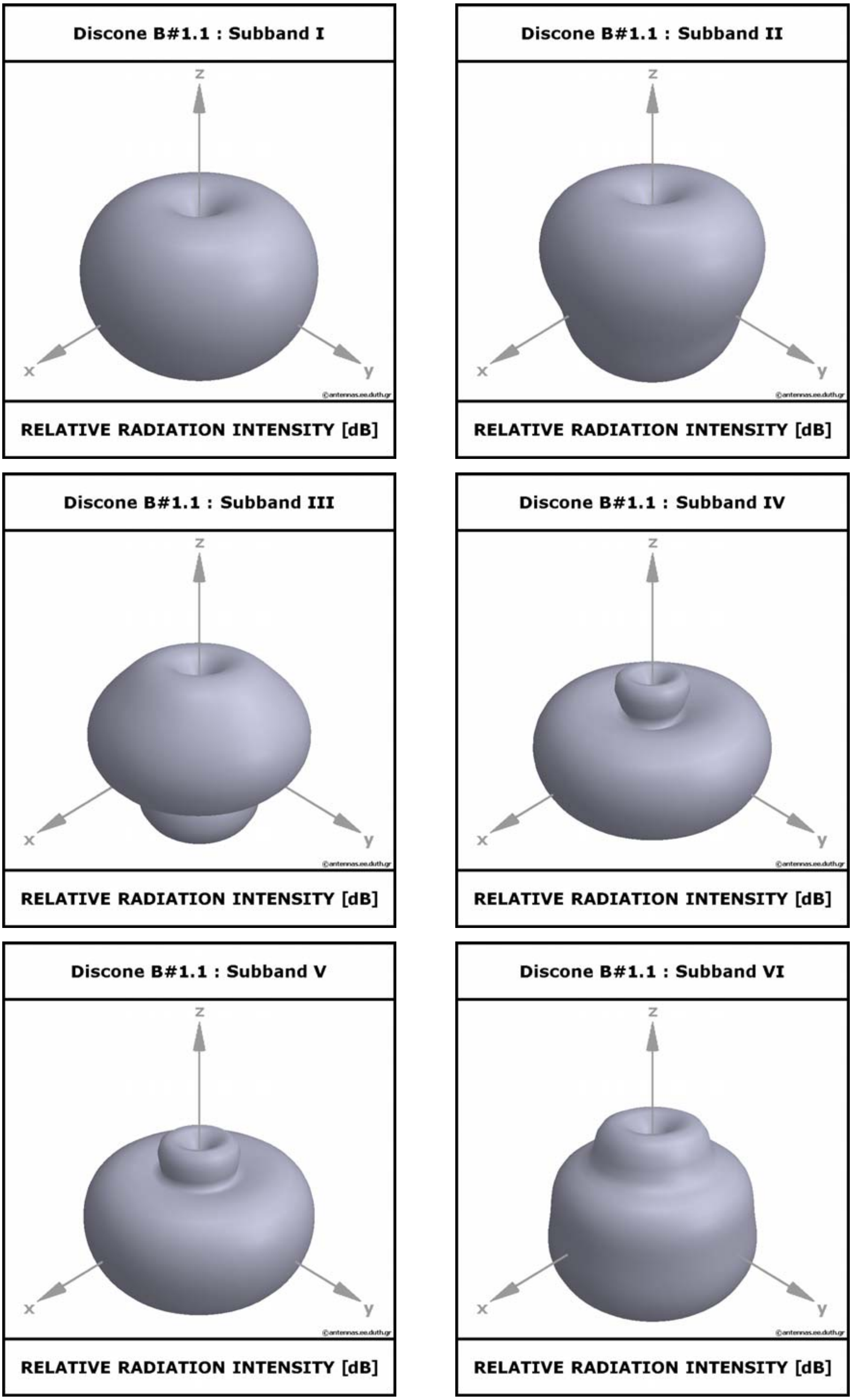


<u>Σχήμα 5.4.1.8</u>: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.





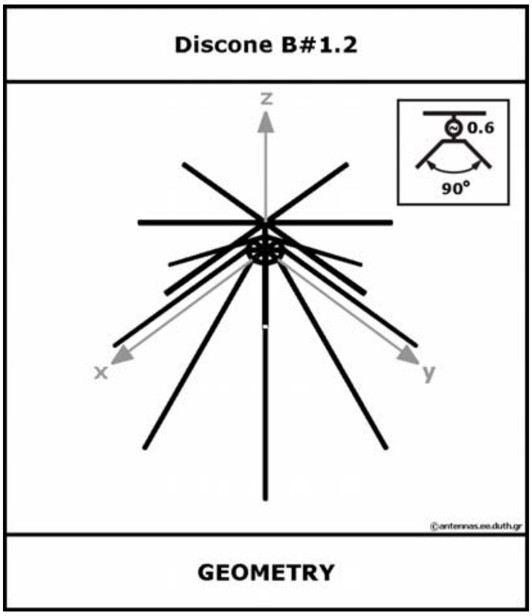
Σχήμα 5.4.1.9: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



Σχήμα 5.4.1.10: Σχετική ένταση ακτινοβολίας στην κεντρική συχνότητα κάθε υποζώνης.

5.4.2 : Discone B#1.2.

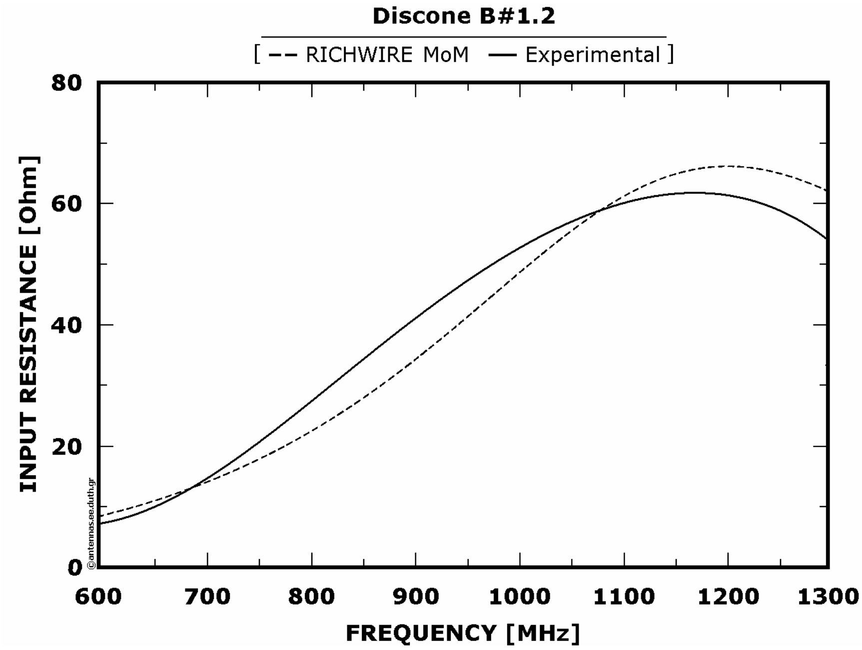
Τα χαρακτηριστικά της κεραίας δίνονται στον Πίνακα 5.4.2.1.



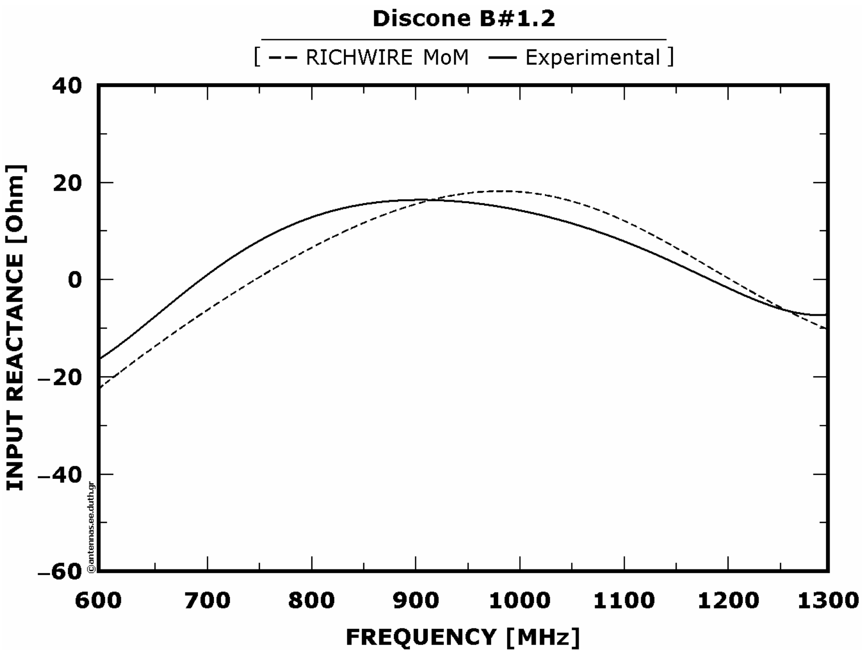
Σχήμα 5.4.2.1: Γεωμετρία της Discone B#1.2.

Πίνακας 5.4.2.1: Χαρακτηριστικά της κεραίας B#1.2.

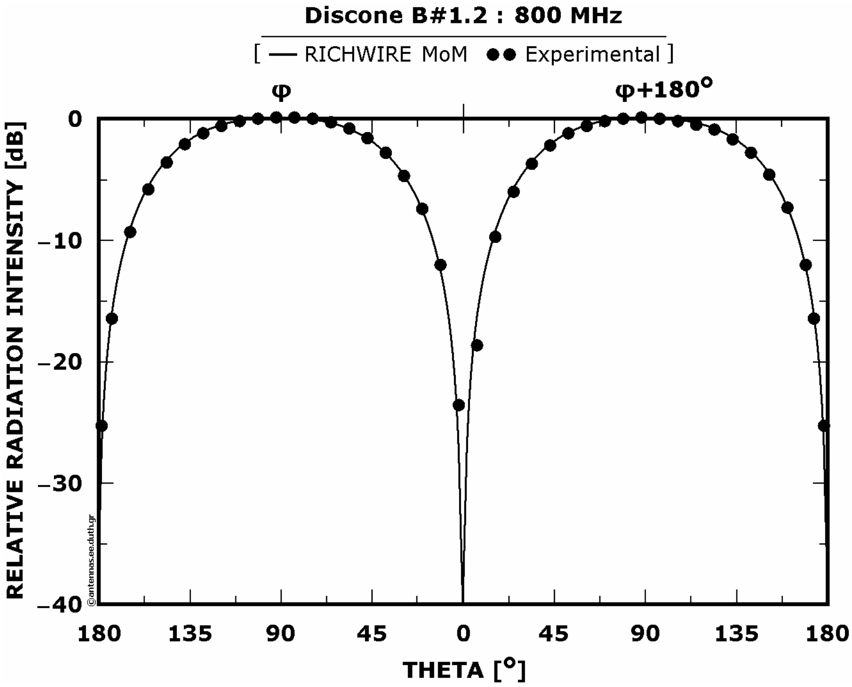
Αριθμός ακτίνων δίσκου	8
Αριθμός ακτίνων κώνου	8
Διάμετρος δίσκου D [cm]	13.2
Απόσταση δίσκου-κώνου s [cm]	0.6
Απόστημα κώνου L [cm]	12.5
Γωνία κώνου α [°]	90
Περιοχή συχνοτήτων προσομοίωσης [MHz]	[600, 2500]
Περιοχή συχνοτήτων μέτρησης [MHz]	[600, 1300]
Περιοχή συχνοτήτων με VSWR ≤ 2 [MHz]	[840, 1660] ∧ [2450, 2490]
Κατευθυντικότητα [dBi]	[0.79, 3.98]

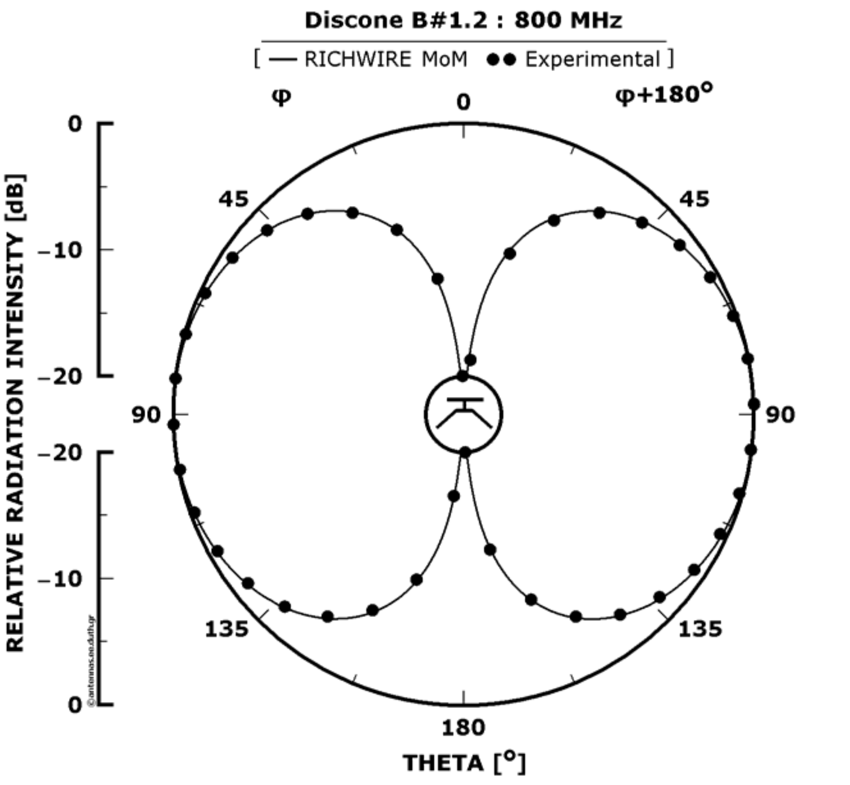


Σχήμα 5.4.2.2: Πραγματικό μέρος της σύνθετης αντίστασης εισόδου.

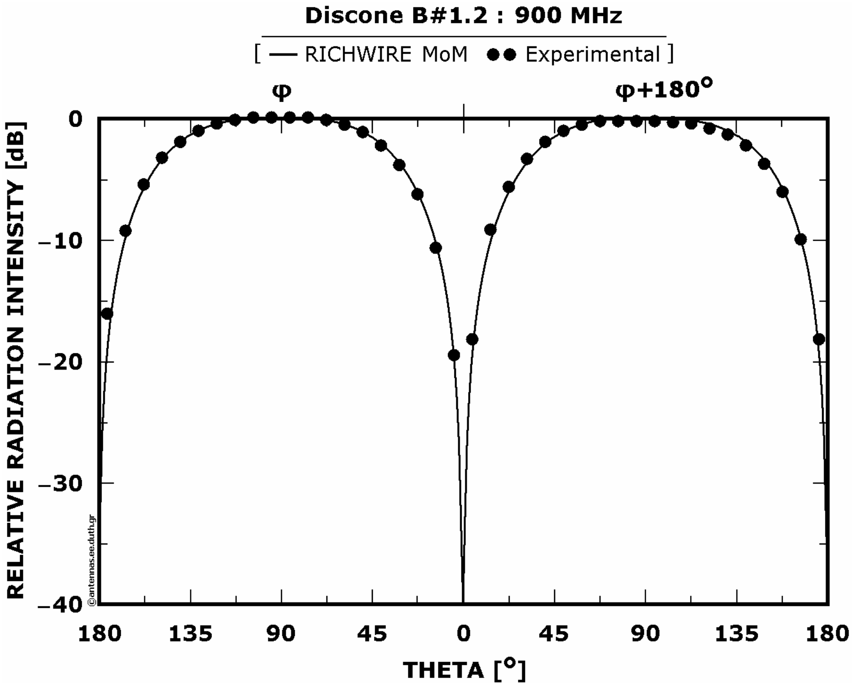


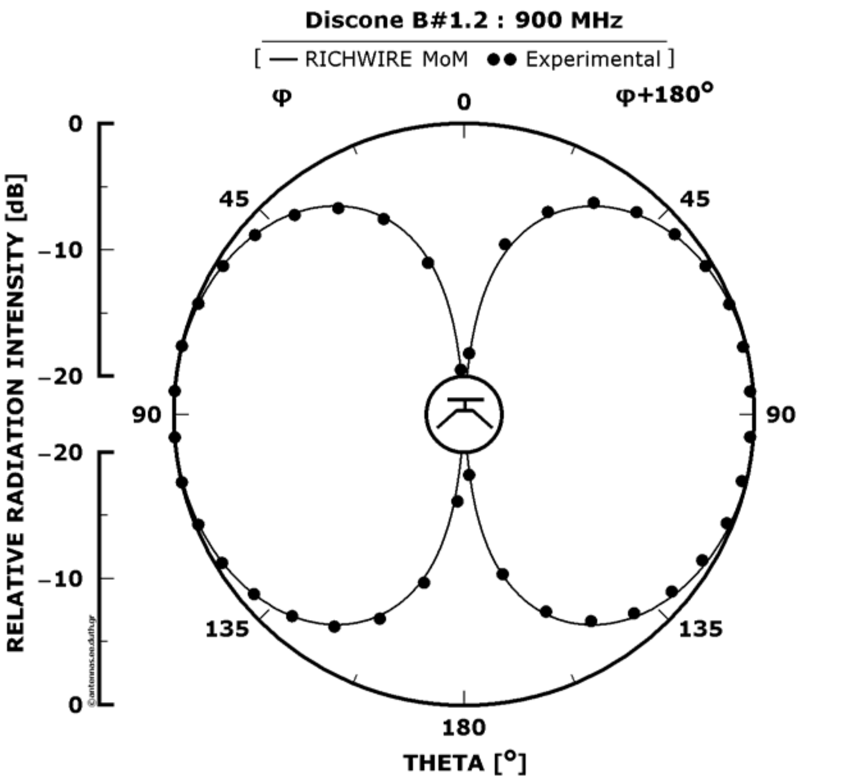
Σχήμα 5.4.2.3: Φανταστικό μέρος της σύνθετης αντίστασης εισόδου.



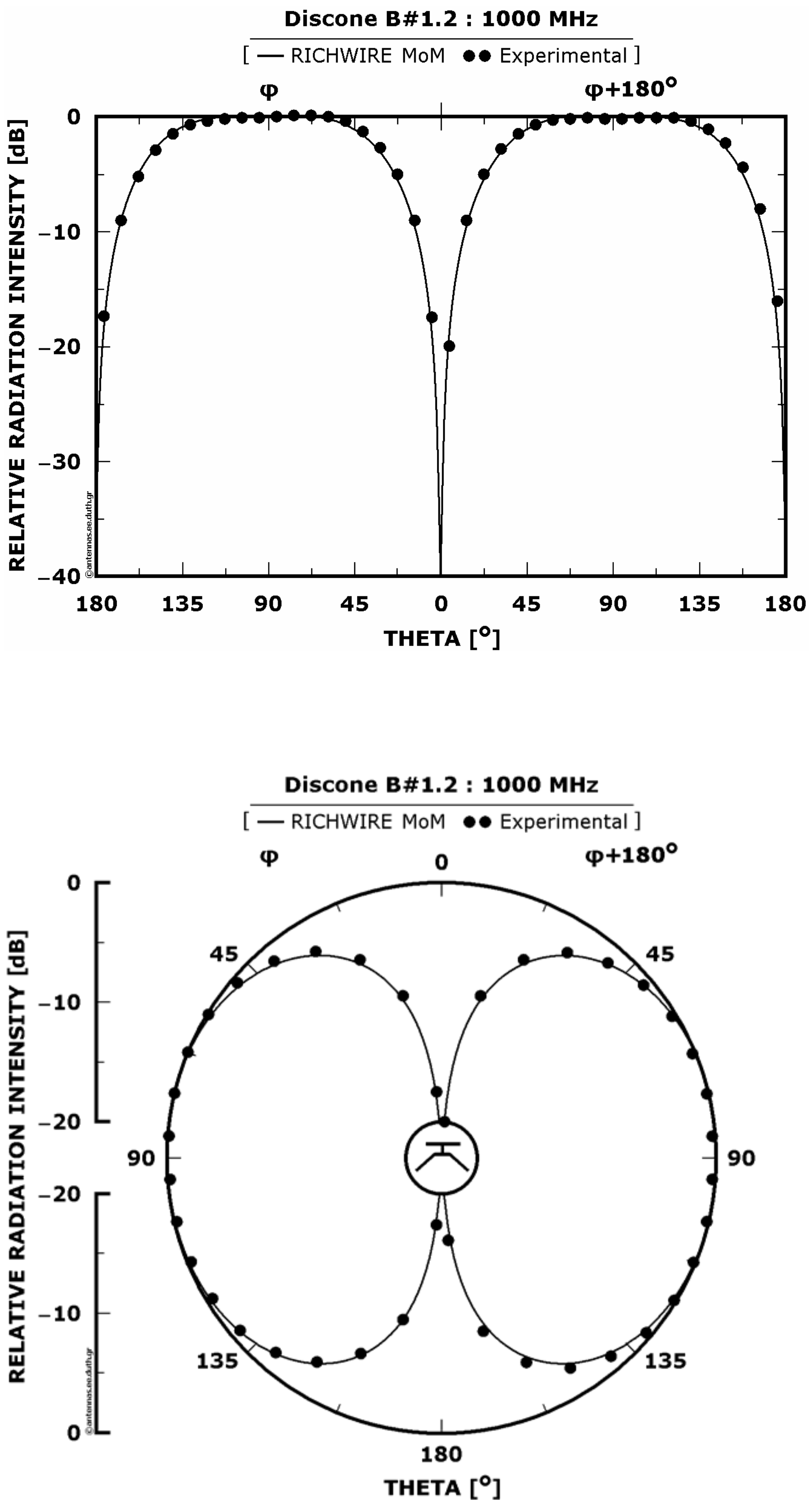


Σχήμα 5.4.2.4: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.

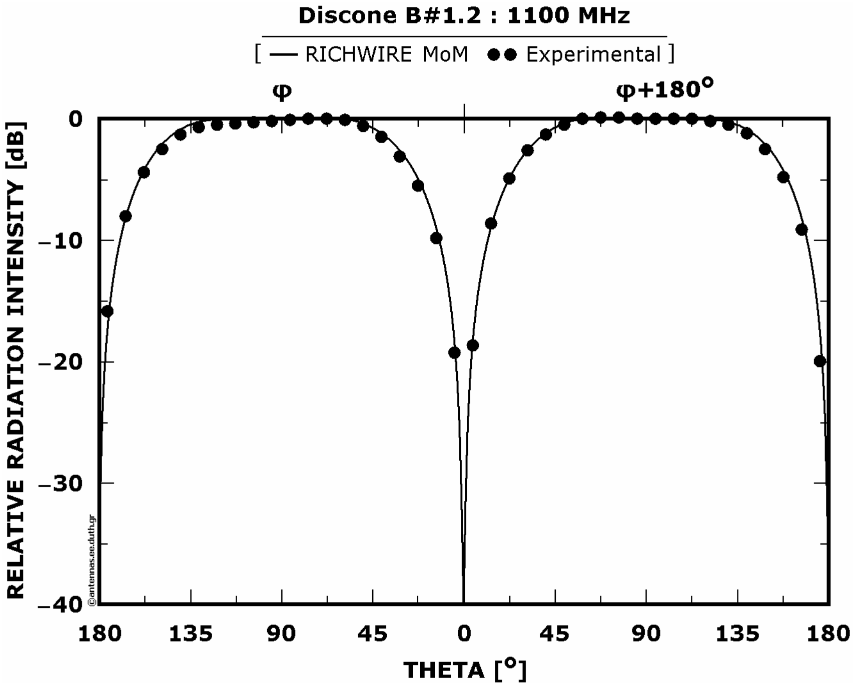


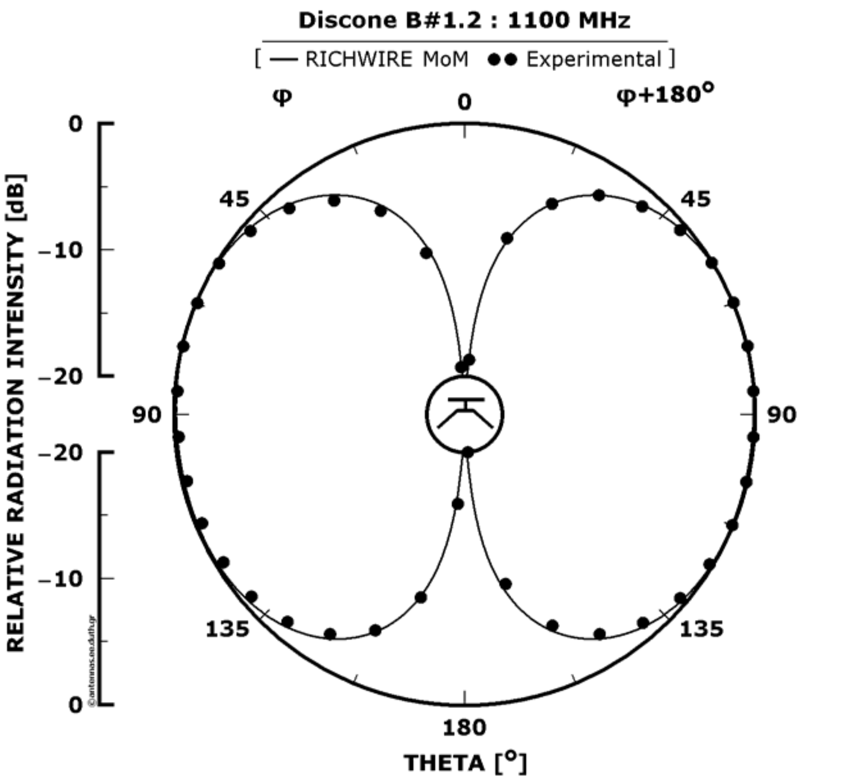


Σχήμα 5.4.2.5: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.

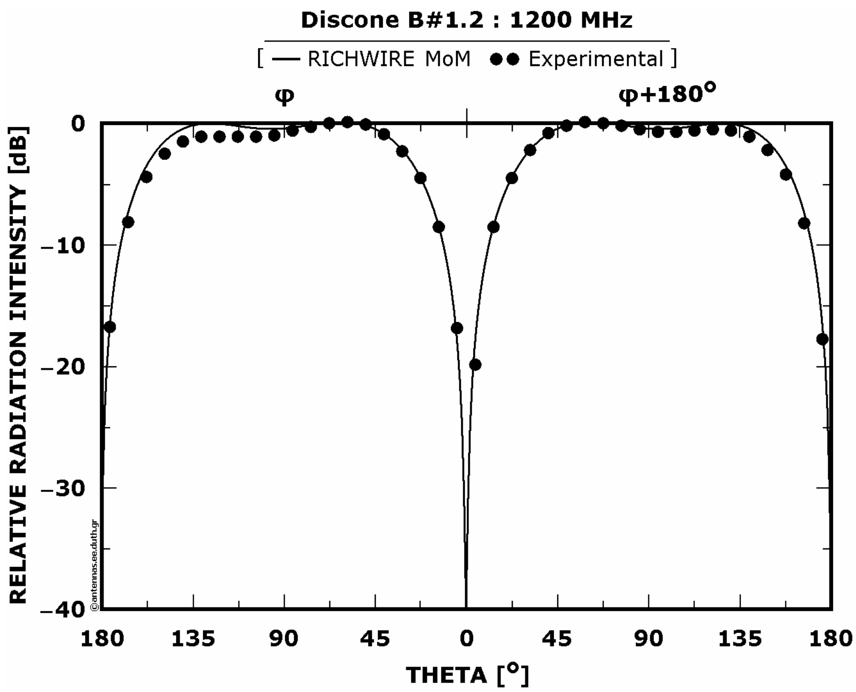


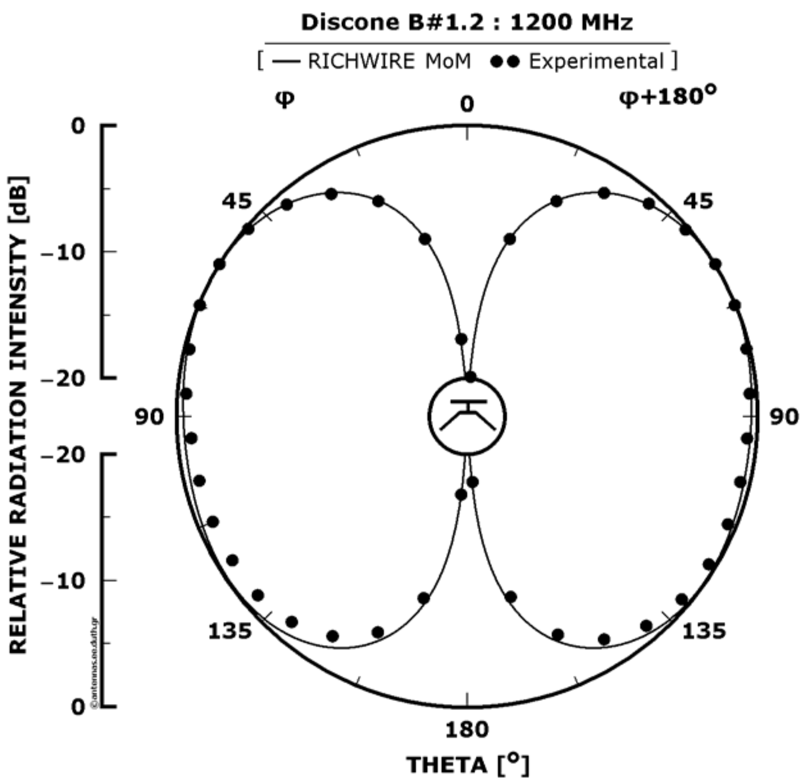
<u>Σχήμα 5.4.2.6</u>: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



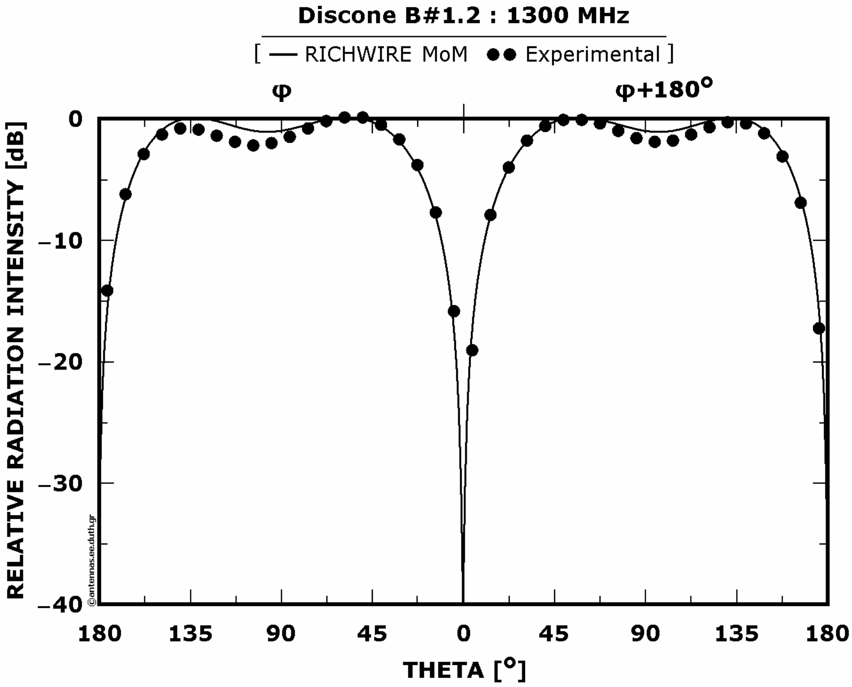


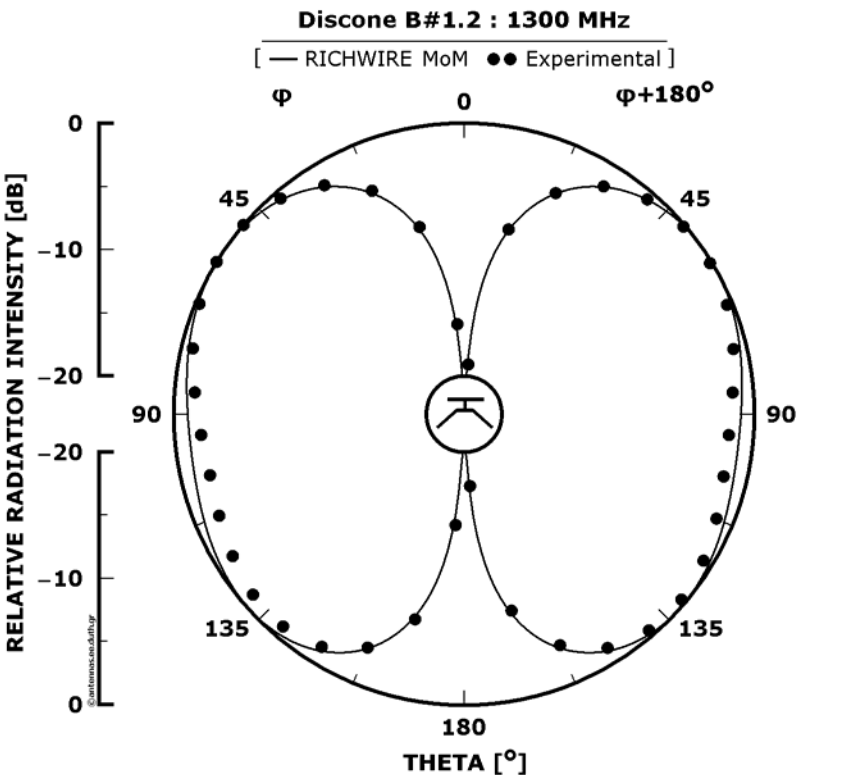
Σχήμα 5.4.2.7: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



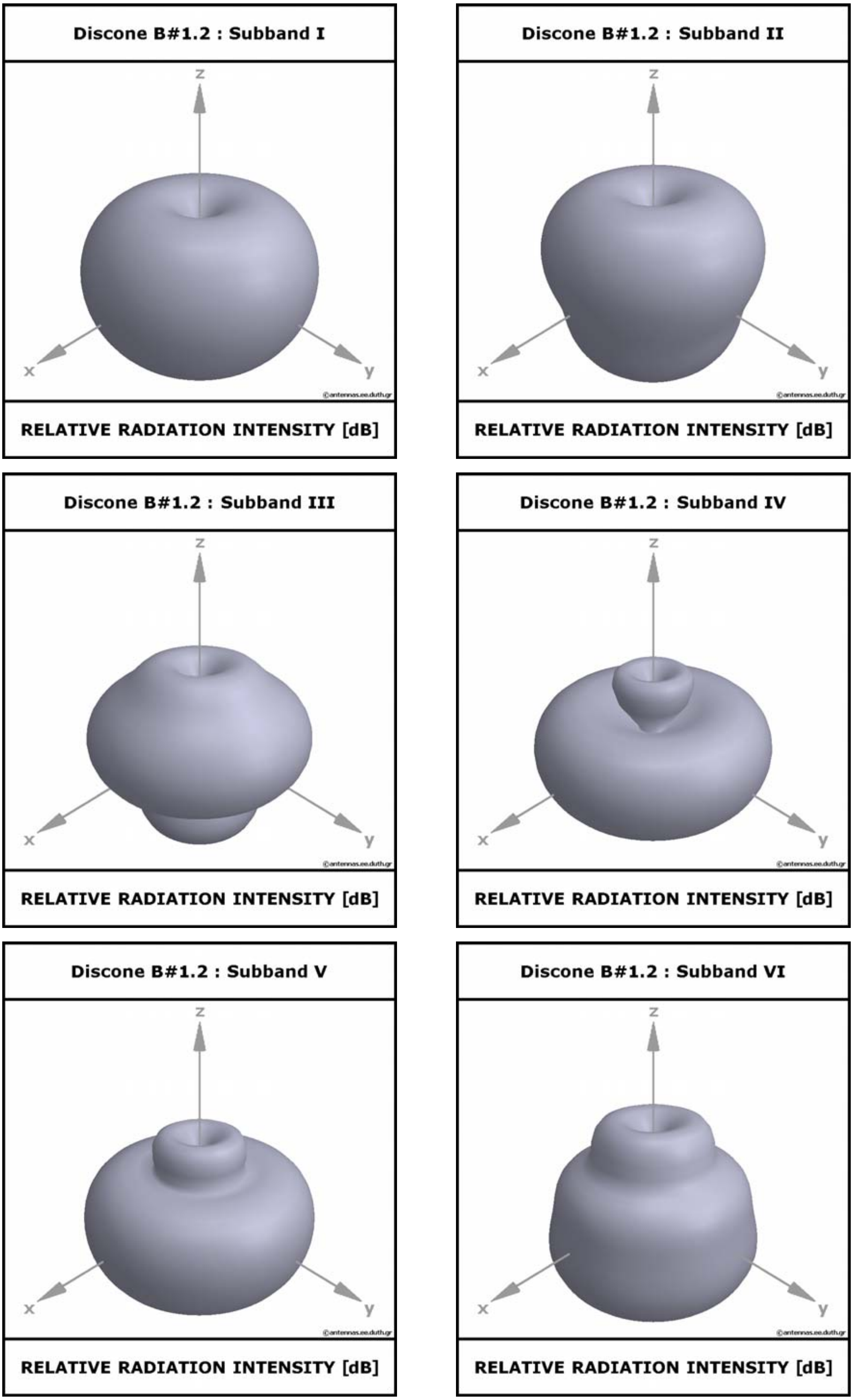


Σχήμα 5.4.2.8: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.





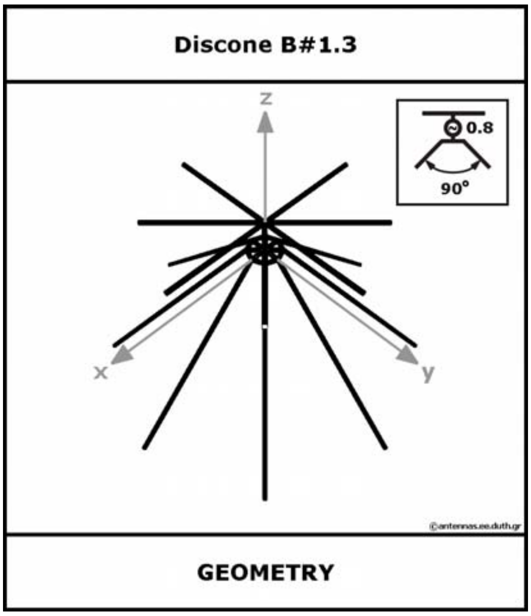
Σχήμα 5.4.2.9: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



Σχήμα 5.4.2.10: Σχετική ένταση ακτινοβολίας στην κεντρική συχνότητα κάθε υποζώνης.

5.4.3 : Discone B#1.3.

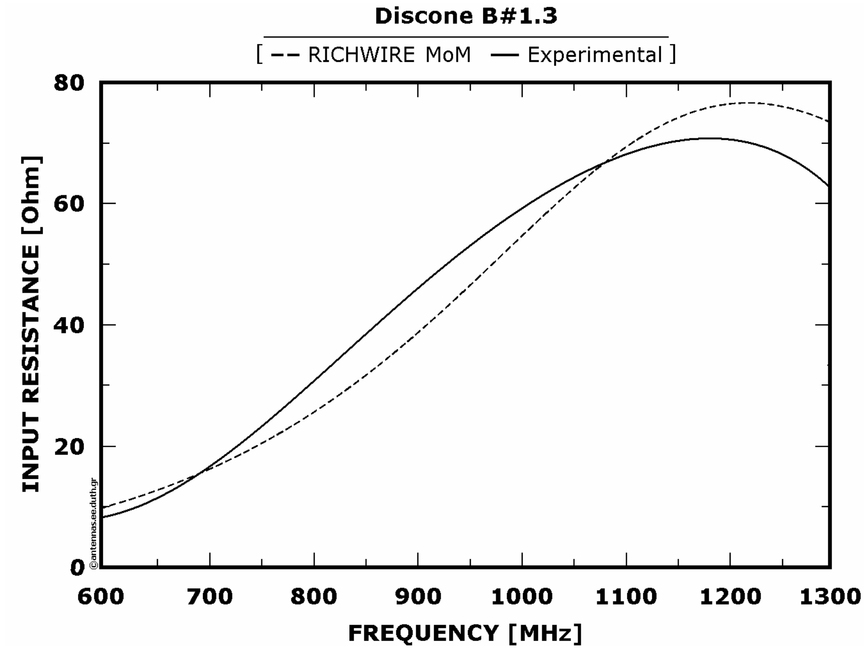
Τα χαρακτηριστικά της κεραίας δίνονται στον Πίνακα 5.4.3.1.



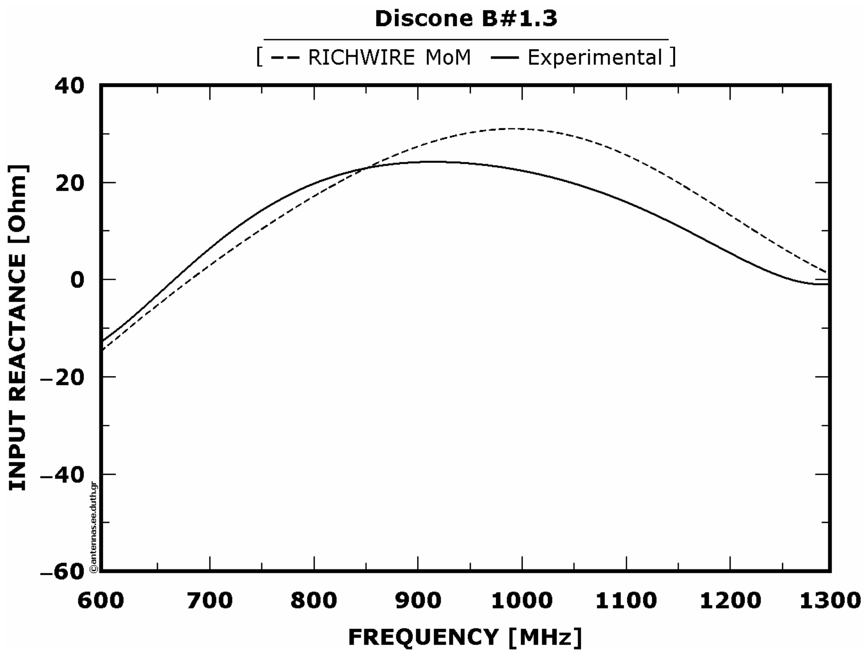
Σχήμα 5.4.3.1: Γεωμετρία της Discone B#1.3.

Πίνακας 5.4.3.1: Χαρακτηριστικά της κεραίας B#1.3.

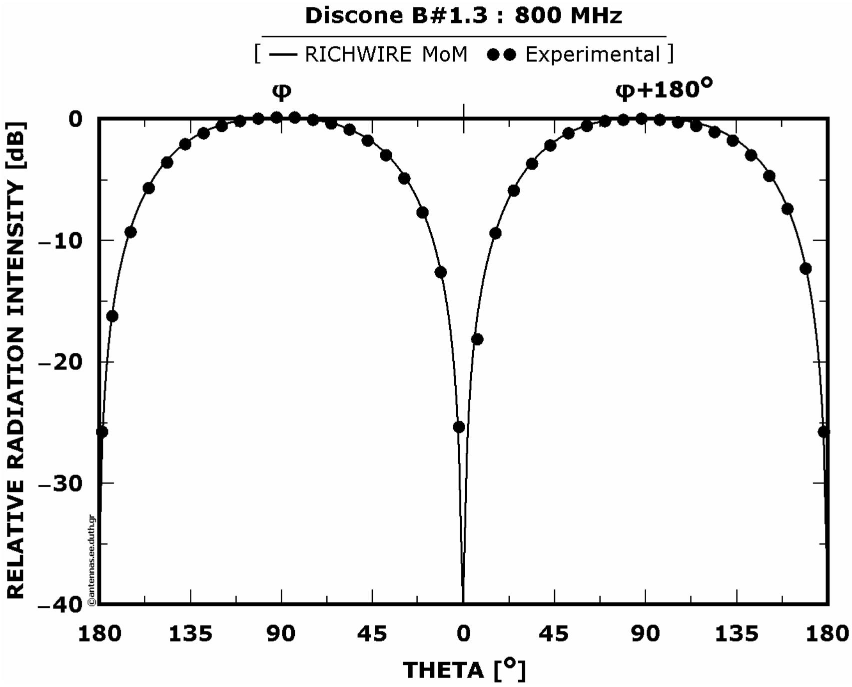
Αριθμός ακτίνων δίσκου	8
Αριθμός ακτίνων κώνου	8
Διάμετρος δίσκου D [cm]	13.2
Απόσταση δίσκου-κώνου s [cm]	0.8
Απόστημα κώνου L [cm]	12.5
Γωνία κώνου α [°]	90
Περιοχή συχνοτήτων προσομοίωσης [MHz]	[600, 2500]
Περιοχή συχνοτήτων μέτρησης [MHz]	[600, 1300]
Περιοχή συχνοτήτων με VSWR ≤ 2 [MHz]	[870, 1670] ∧ [2340, 2500]
Κατευθυντικότητα [dBi]	[0.77, 4.12]

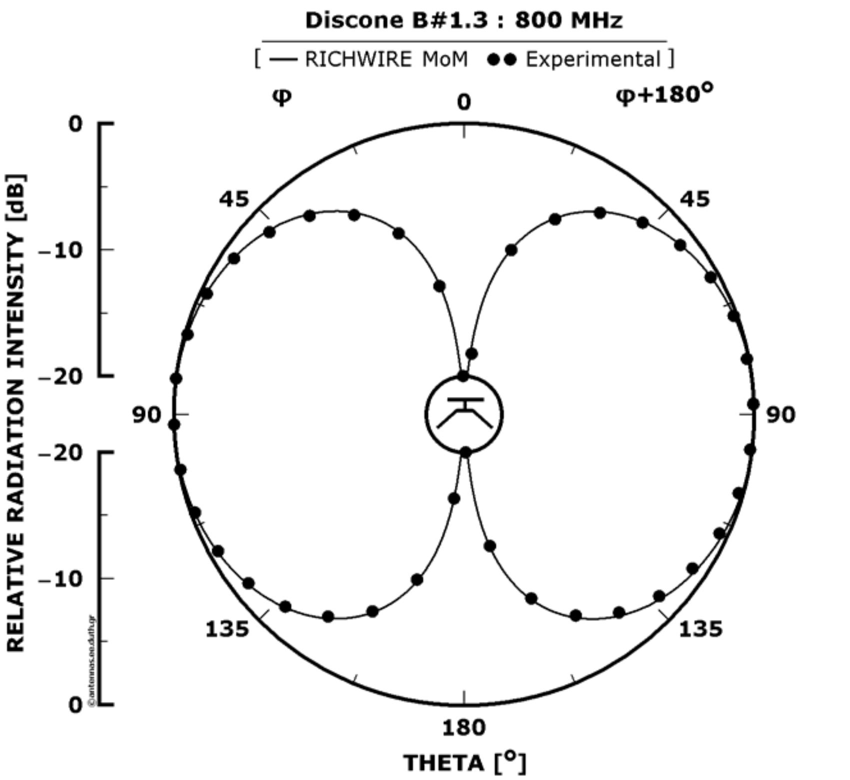


Σχήμα 5.4.3.2: Πραγματικό μέρος της σύνθετης αντίστασης εισόδου.

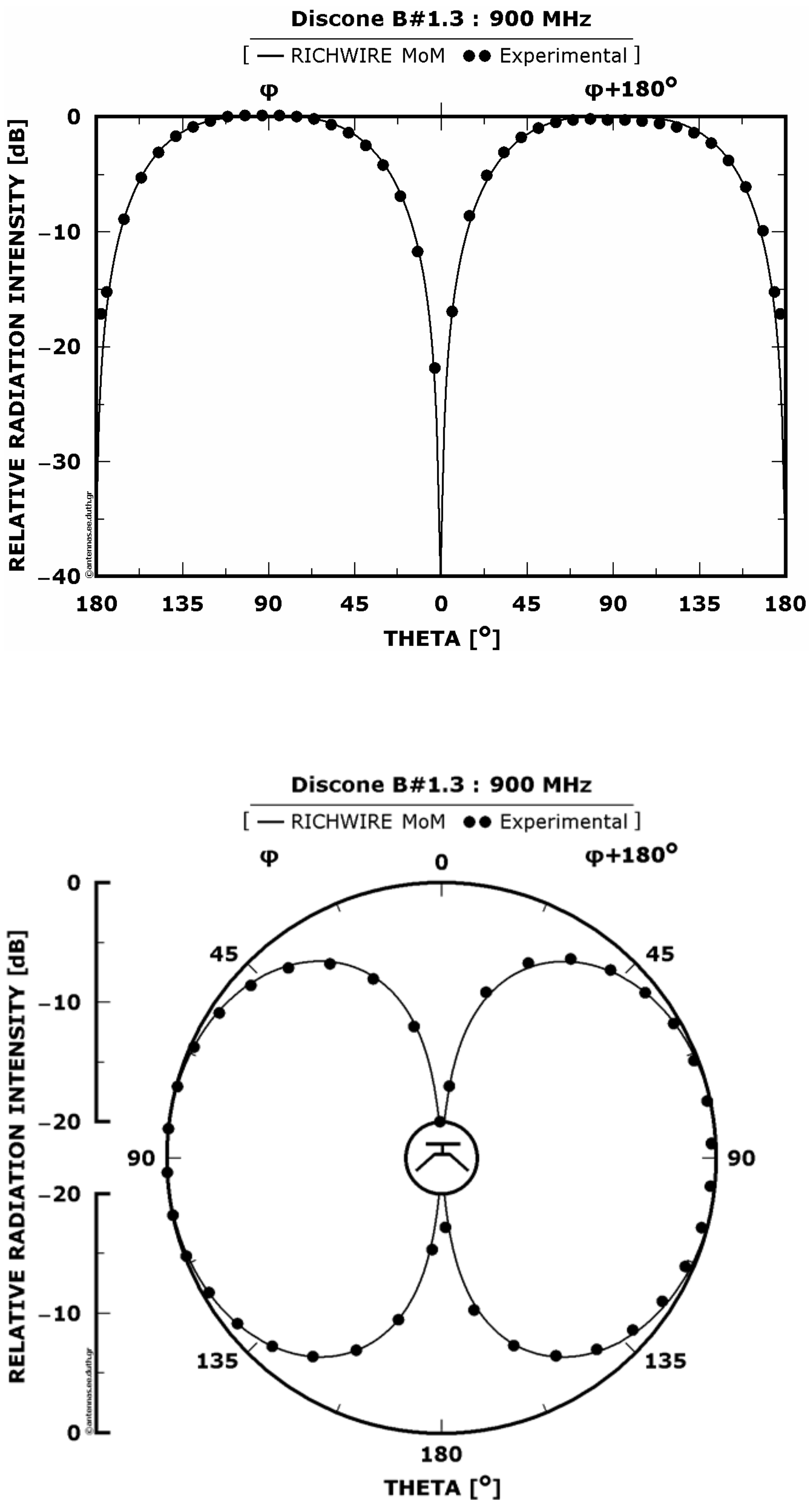


Σχήμα 5.4.3.3: Φανταστικό μέρος της σύνθετης αντίστασης εισόδου.

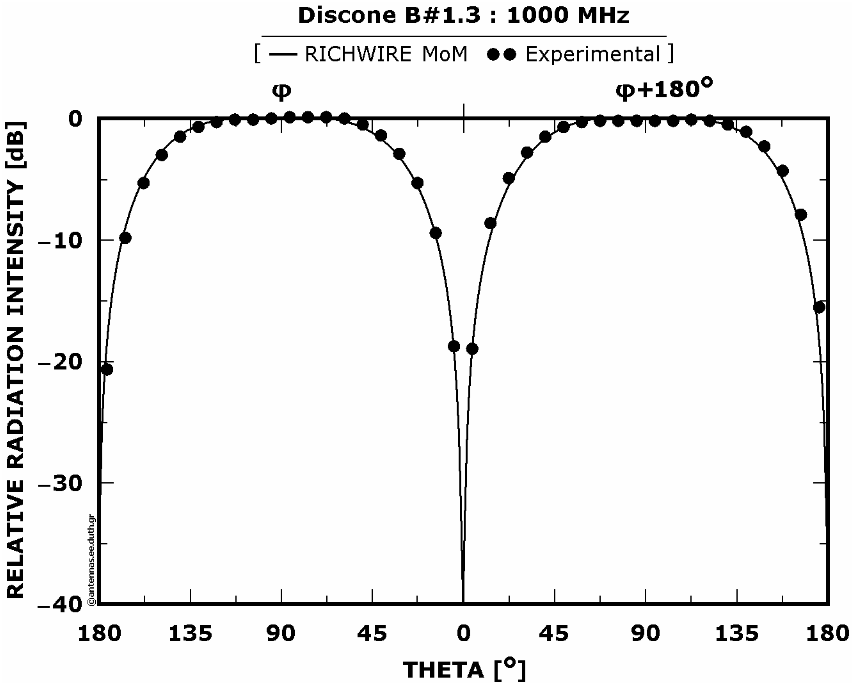


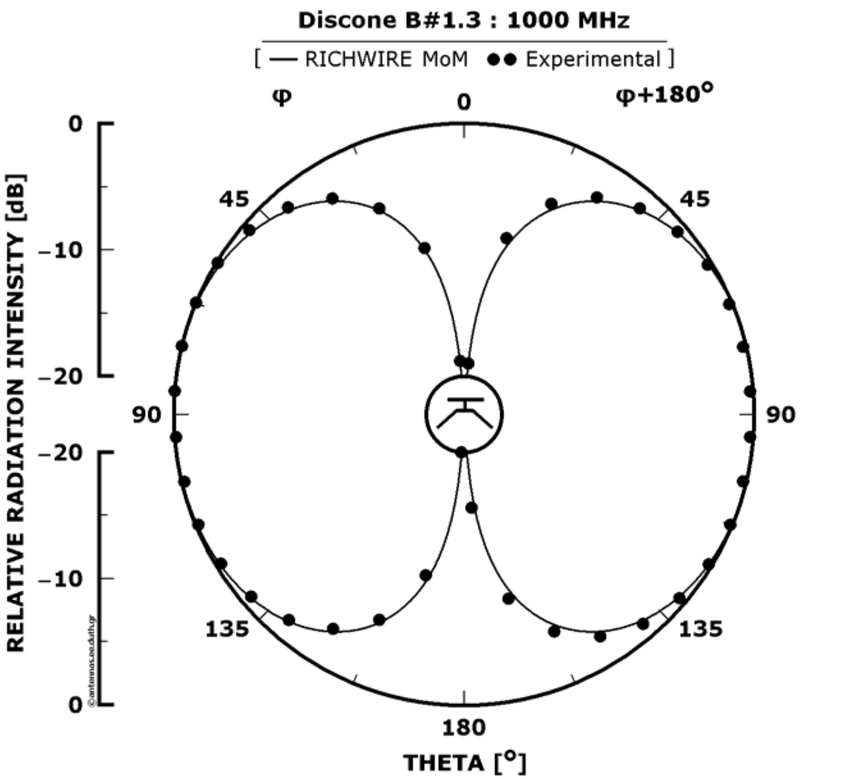


Σχήμα 5.4.3.4: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.

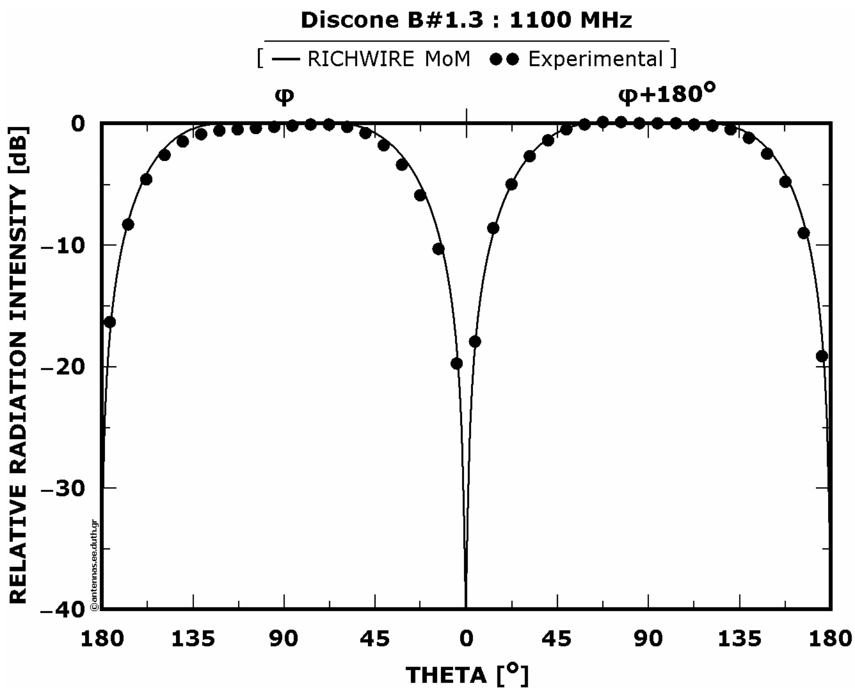


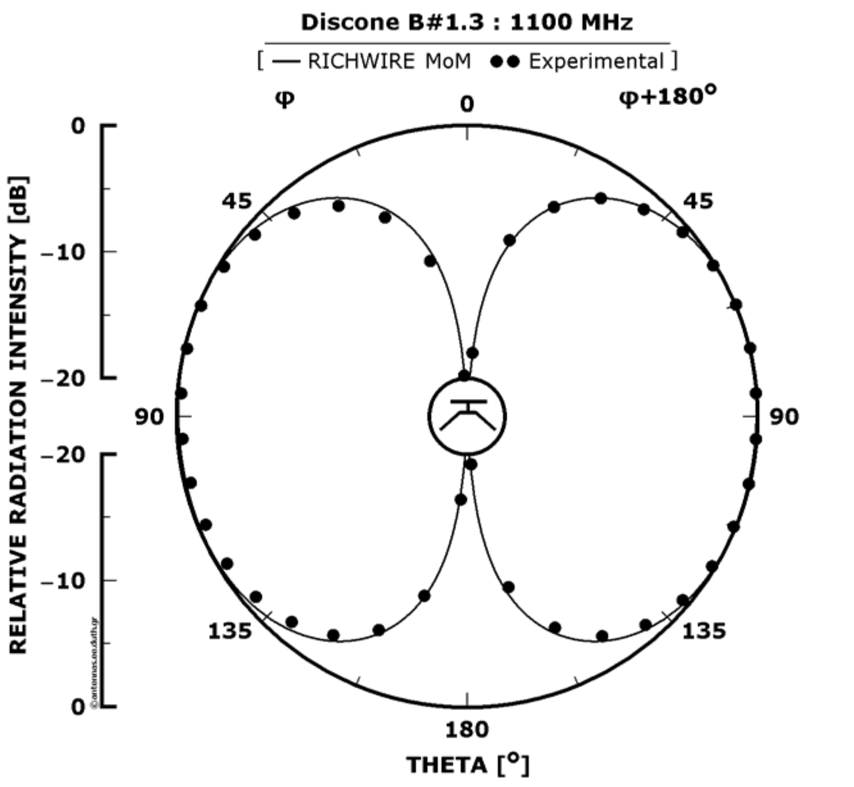
<u>Σχήμα 5.4.3.5</u>: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



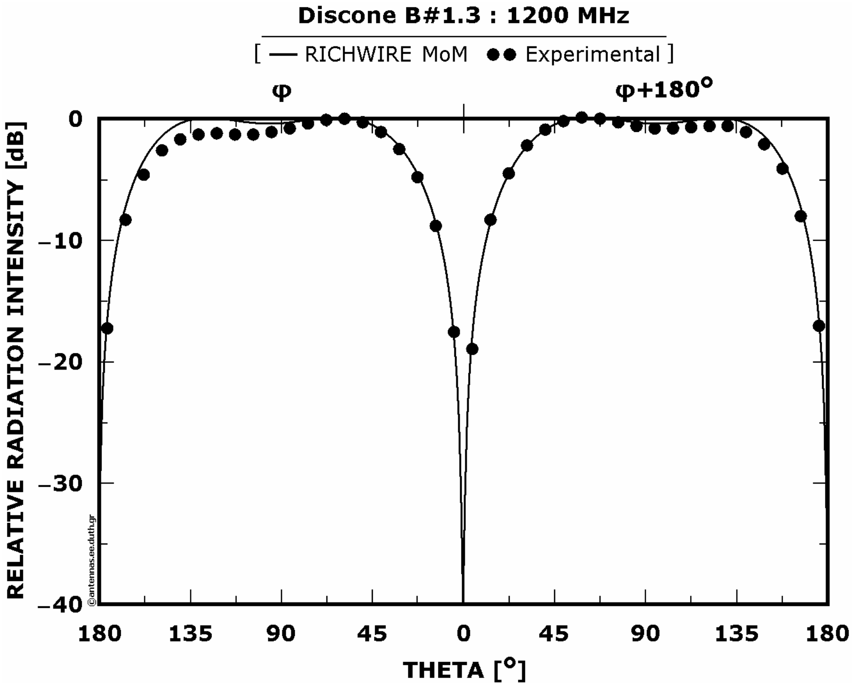


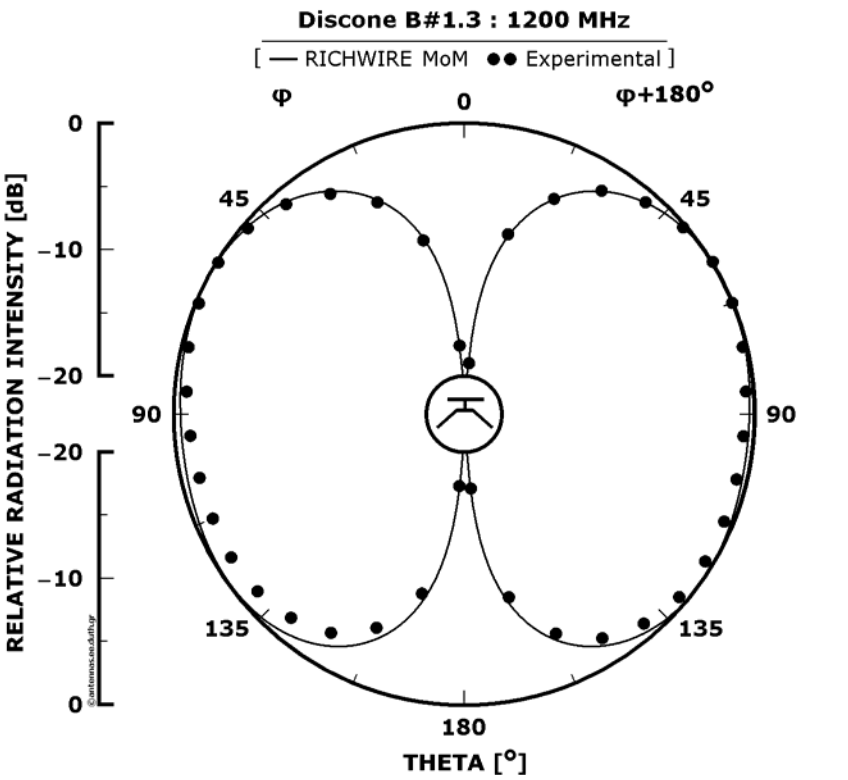
Σχήμα 5.4.3.6: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



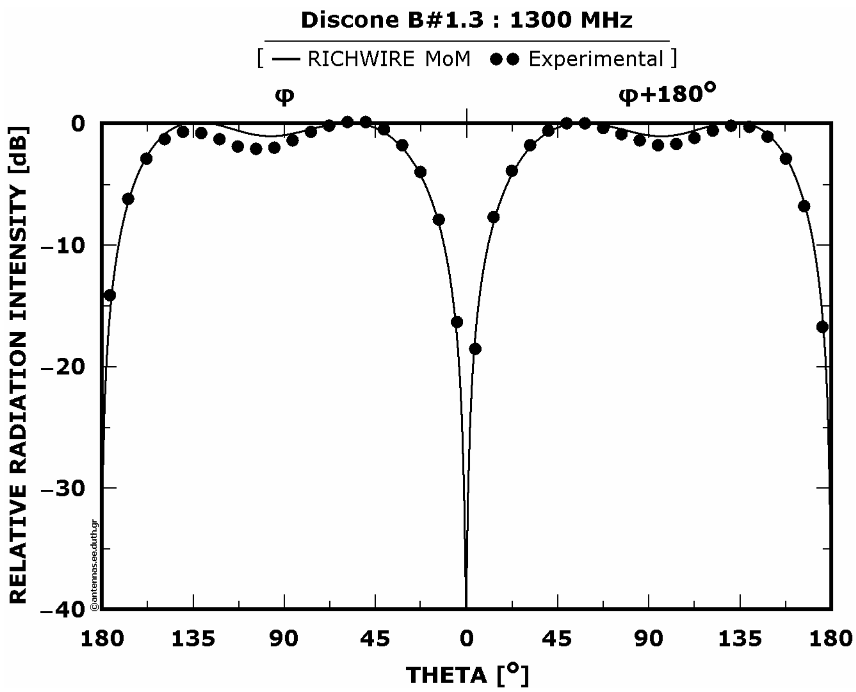


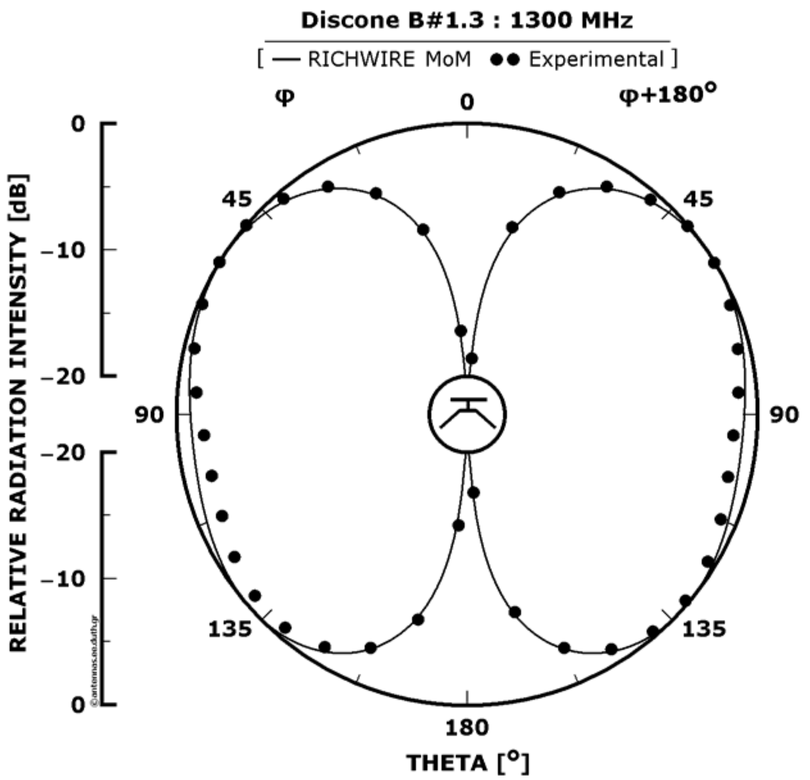
Σχήμα 5.4.3.7: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



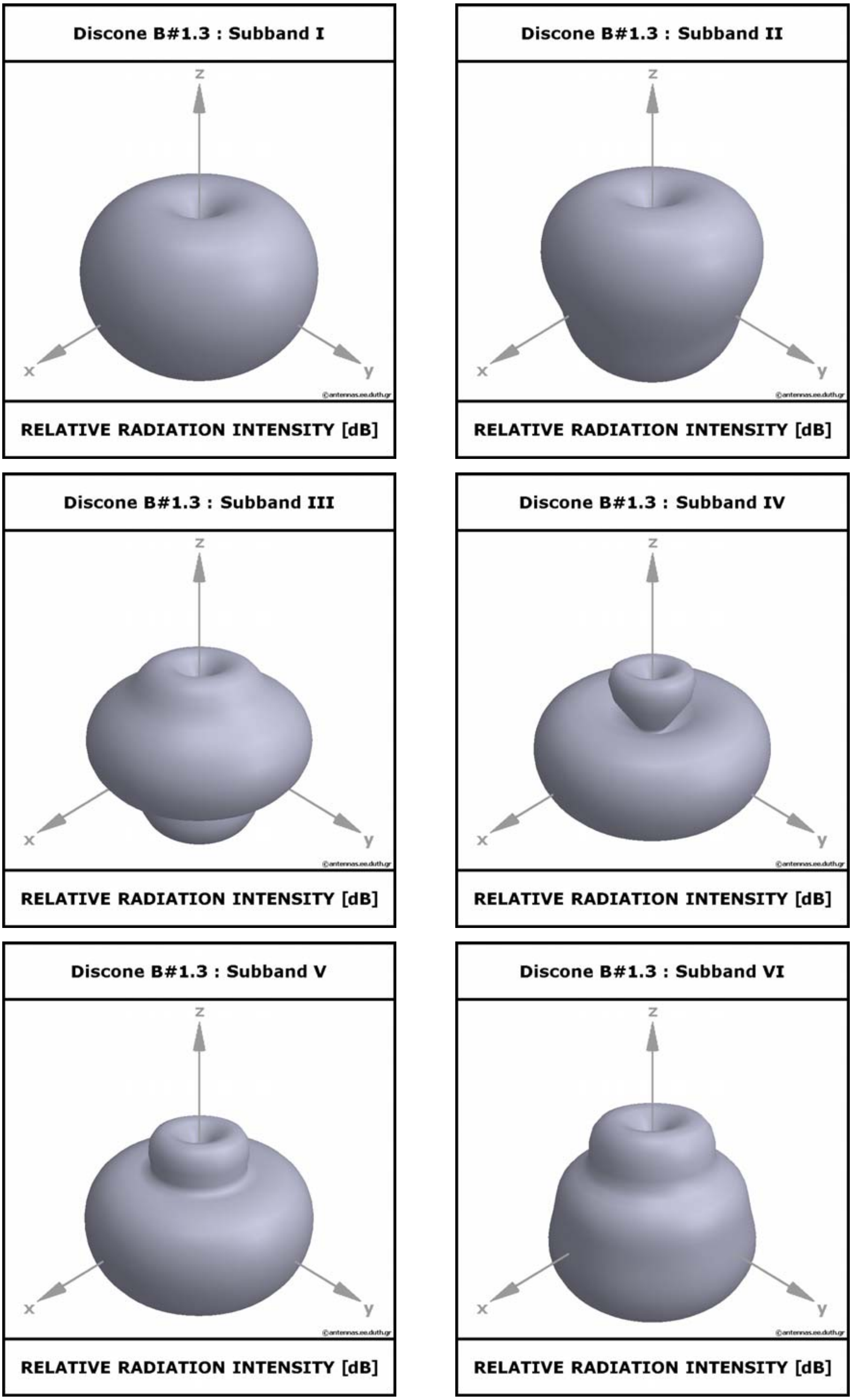


<u>Σχήμα 5.4.3.8</u>: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.





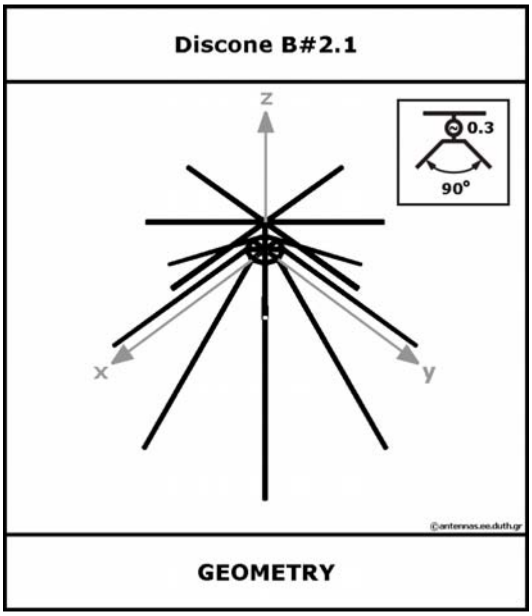
<u>Σχήμα 5.4.3.9</u>: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



Σχήμα 5.4.3.10: Σχετική ένταση ακτινοβολίας στην κεντρική συχνότητα κάθε υποζώνης.

5.4.4 : Discone B#2.1.

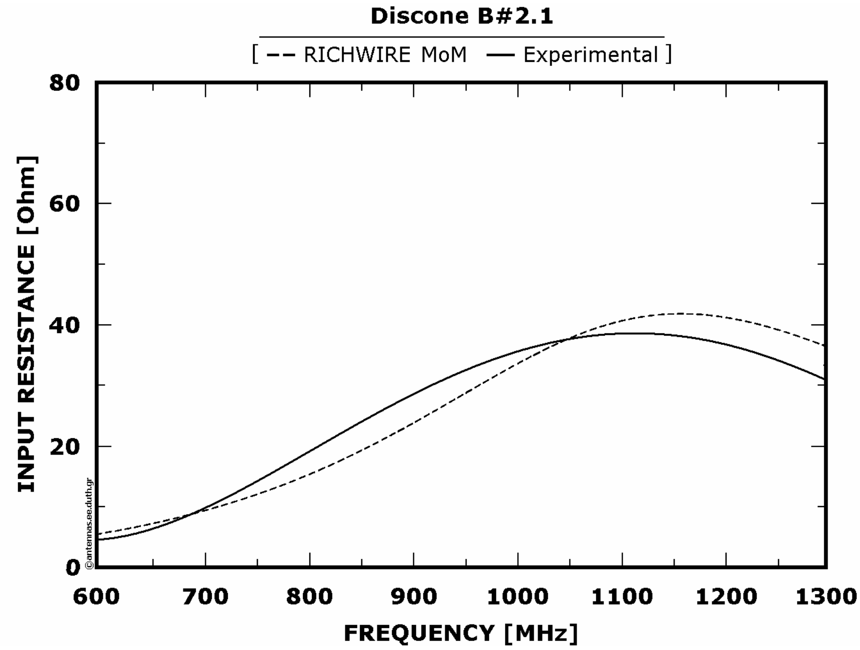
Τα χαρακτηριστικά της κεραίας δίνονται στον Πίνακα 5.4.4.1.



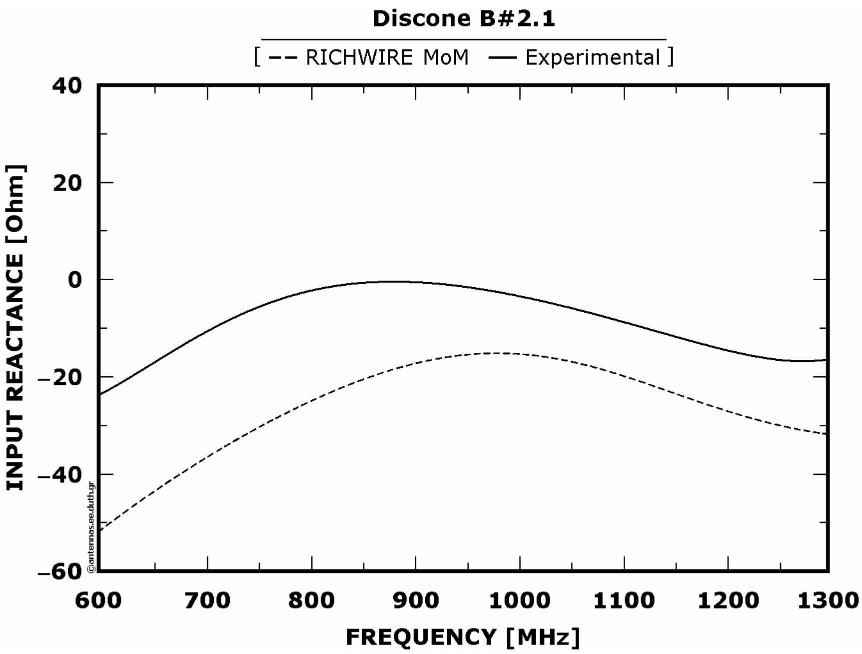
Σχήμα 5.4.4.1: Γεωμετρία της Discone B#2.1.

Πίνακας 5.4.4.1: Χαρακτηριστικά της κεραίας B#2.1.

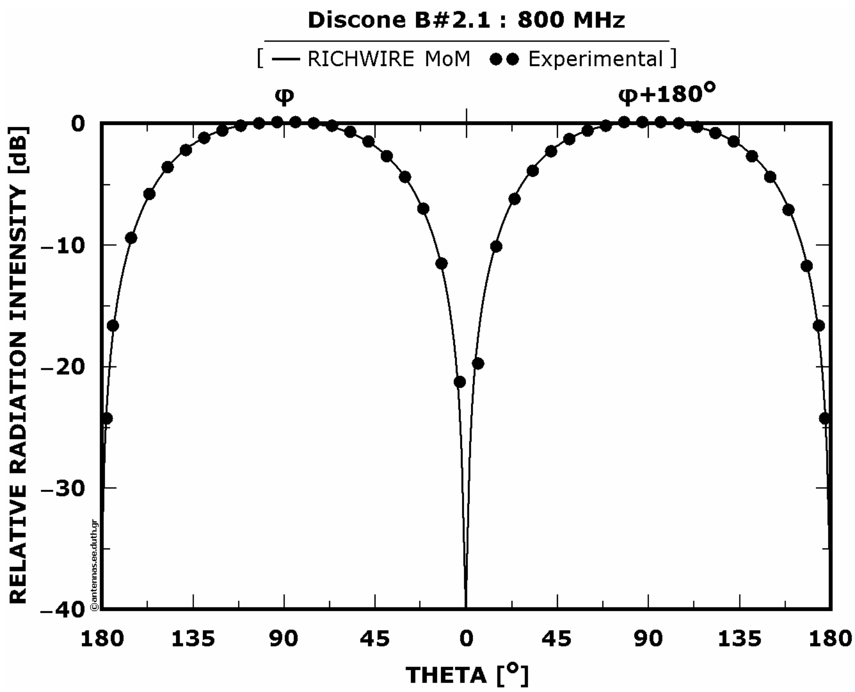
Αριθμός ακτίνων δίσκου	8
Αριθμός ακτίνων κώνου	8
Διάμετρος δίσκου D [cm]	12.4
Απόσταση δίσκου-κώνου s [cm]	0.3
Απόστημα κώνου L [cm]	12.5
Γωνία κώνου α [°]	90
Περιοχή συχνοτήτων προσομοίωσης [MHz]	[600, 2500]
Περιοχή συχνοτήτων μέτρησης [MHz]	[600, 1300]
Περιοχή συχνοτήτων με VSWR ≤ 2 [MHz]	[950, 1240] ∧ [1890, 2110]
Κατευθυντικότητα [dBi]	[0.81, 3.91]

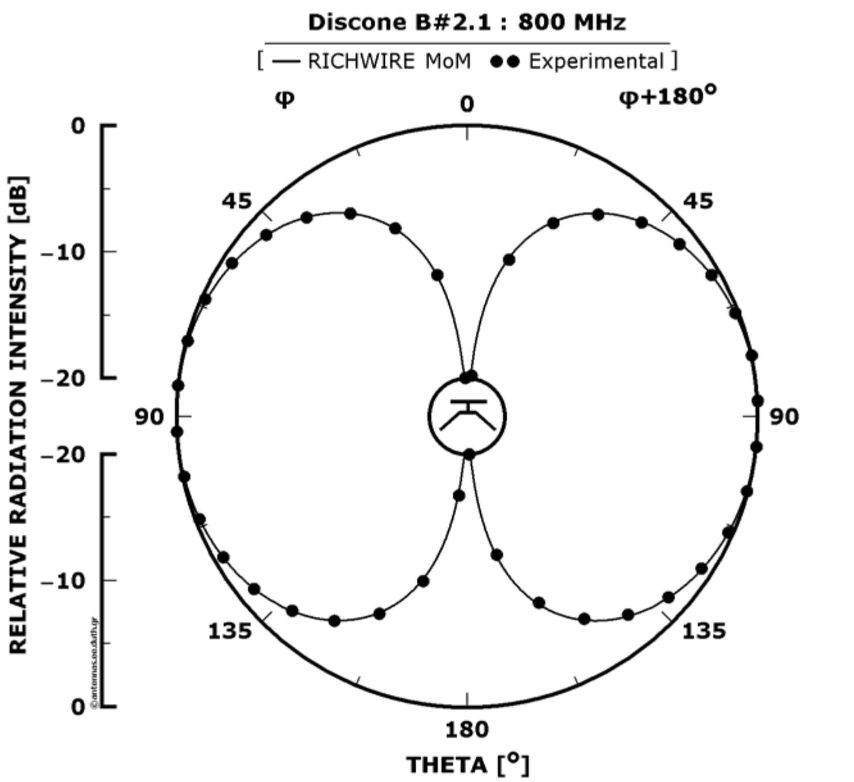


Σχήμα 5.4.4.2: Πραγματικό μέρος της σύνθετης αντίστασης εισόδου.

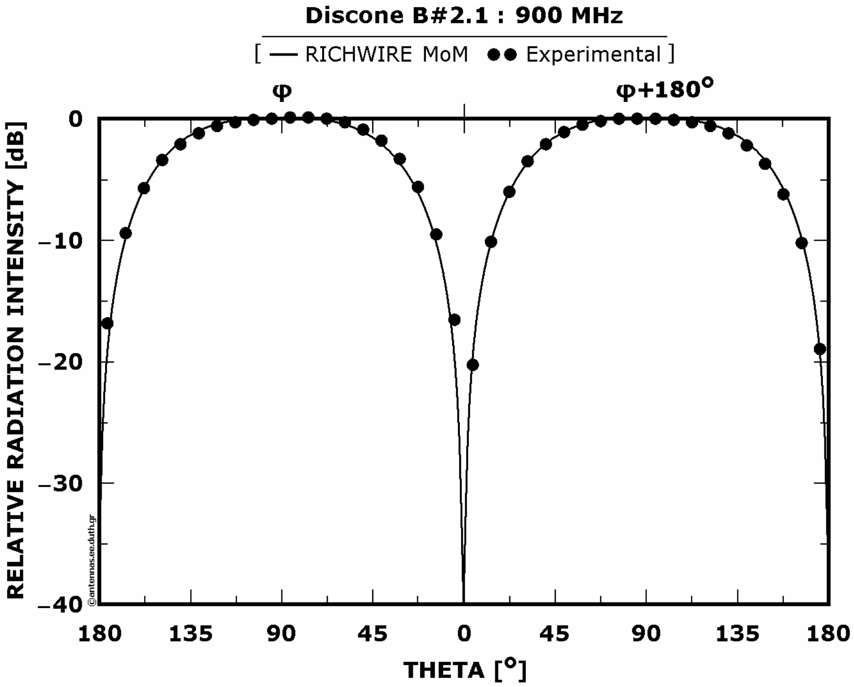


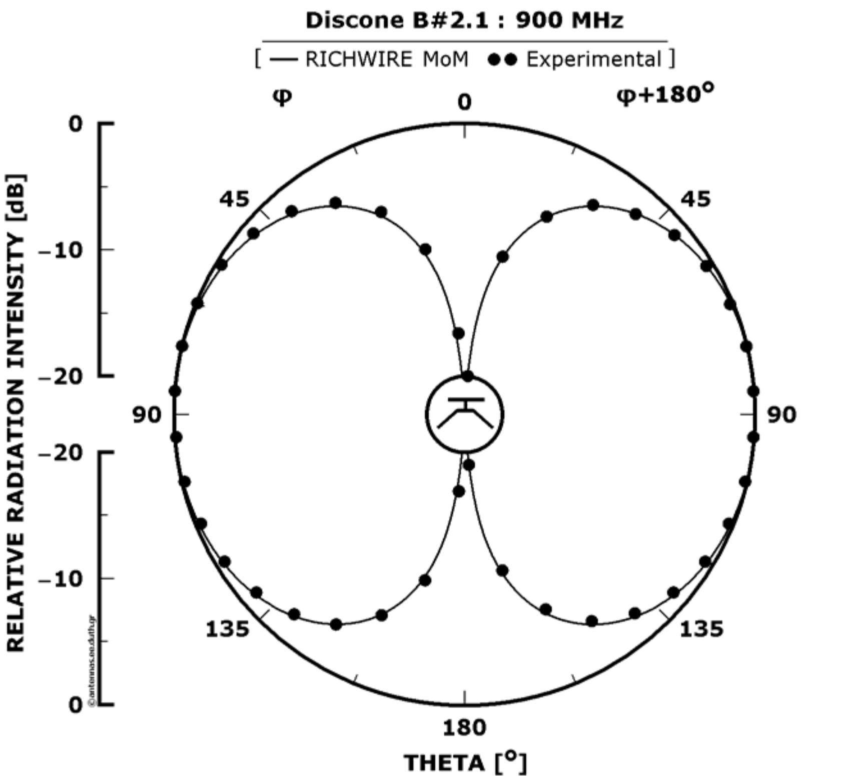
Σχήμα 5.4.4.3: Φανταστικό μέρος της σύνθετης αντίστασης εισόδου.



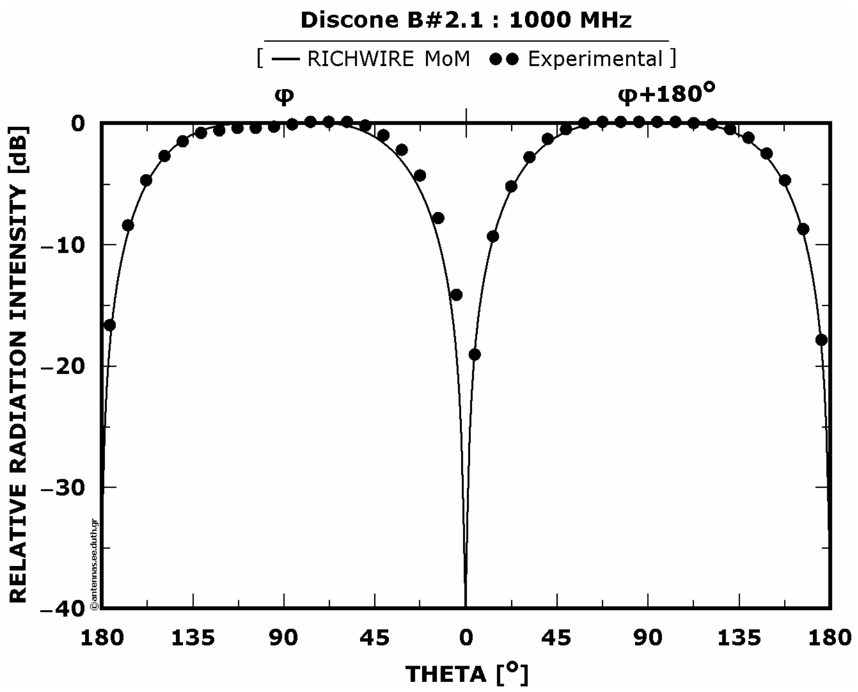


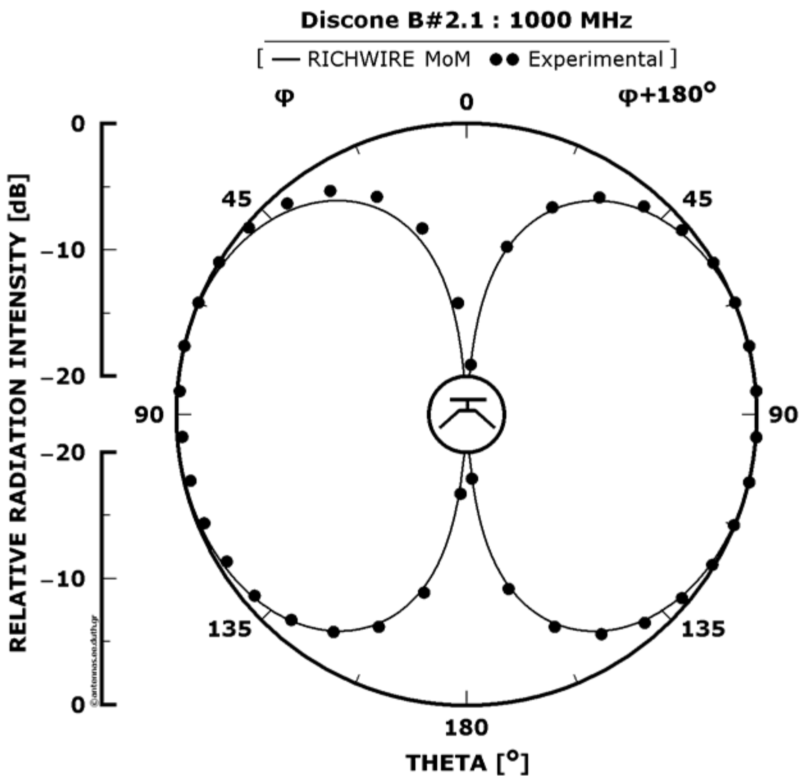
Σχήμα 5.4.4.4: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



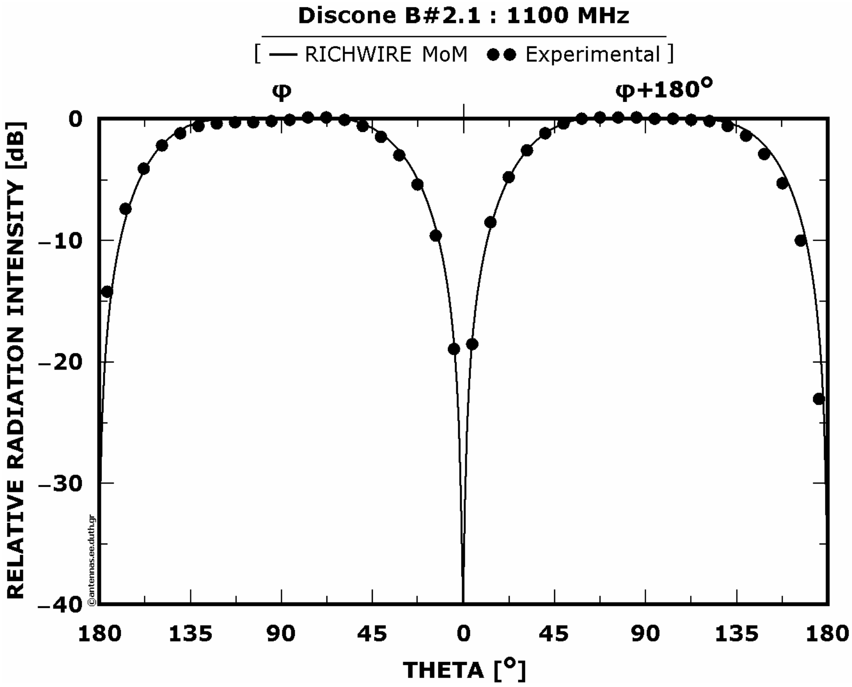


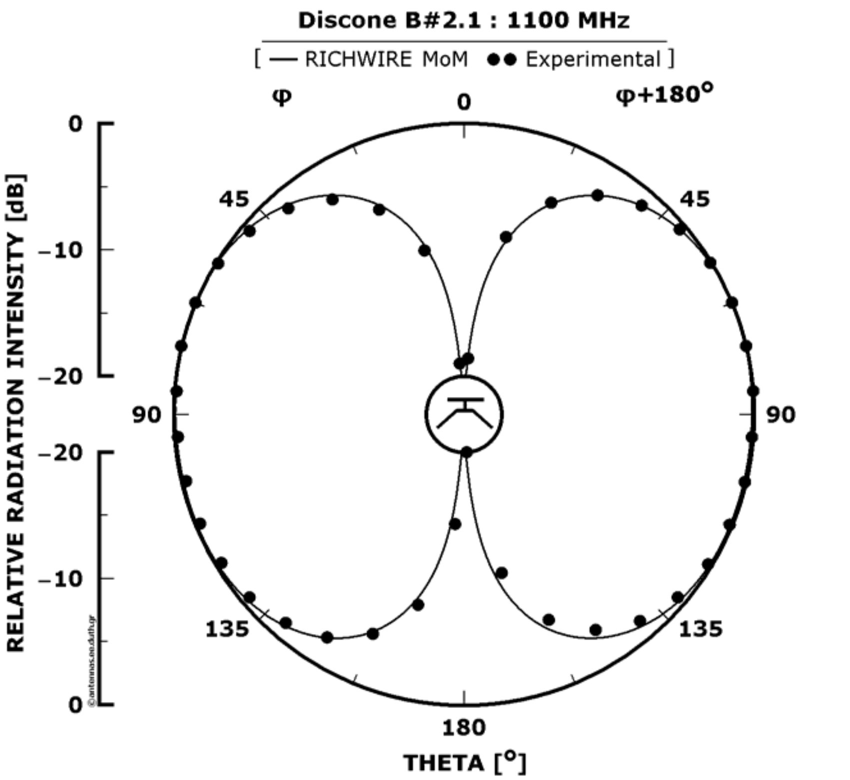
Σχήμα 5.4.4.5: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



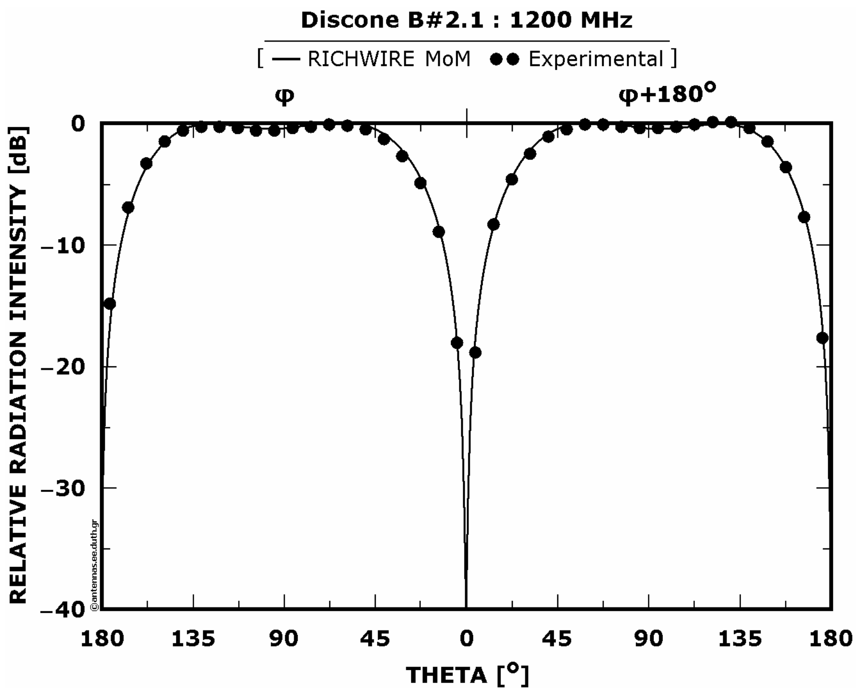


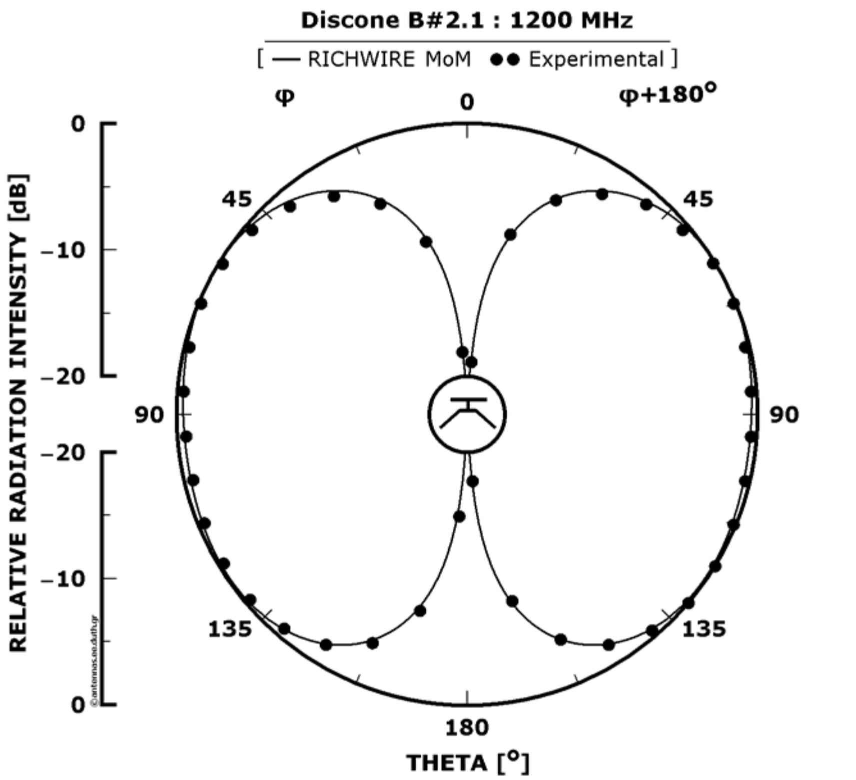
Σχήμα 5.4.4.6: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



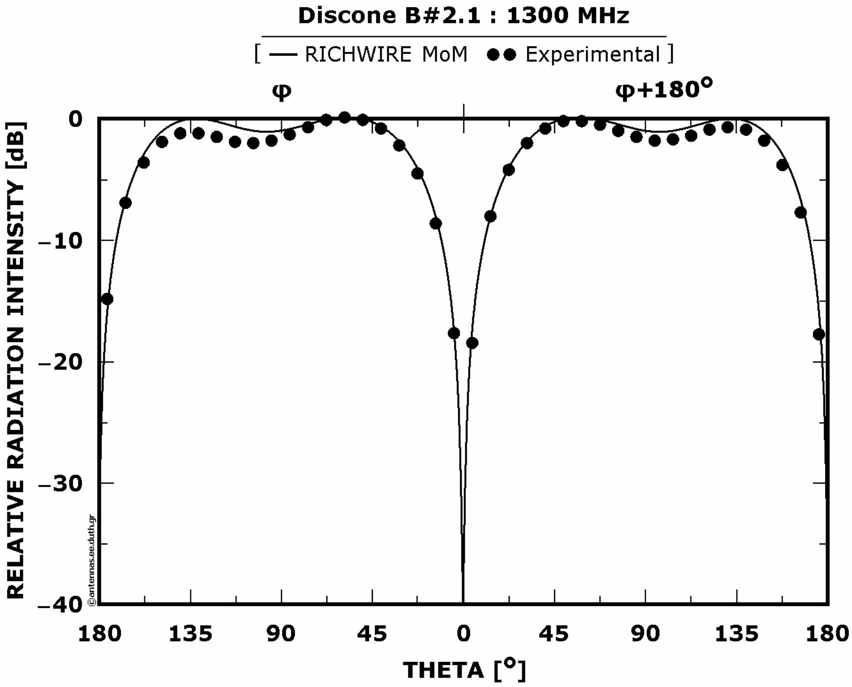


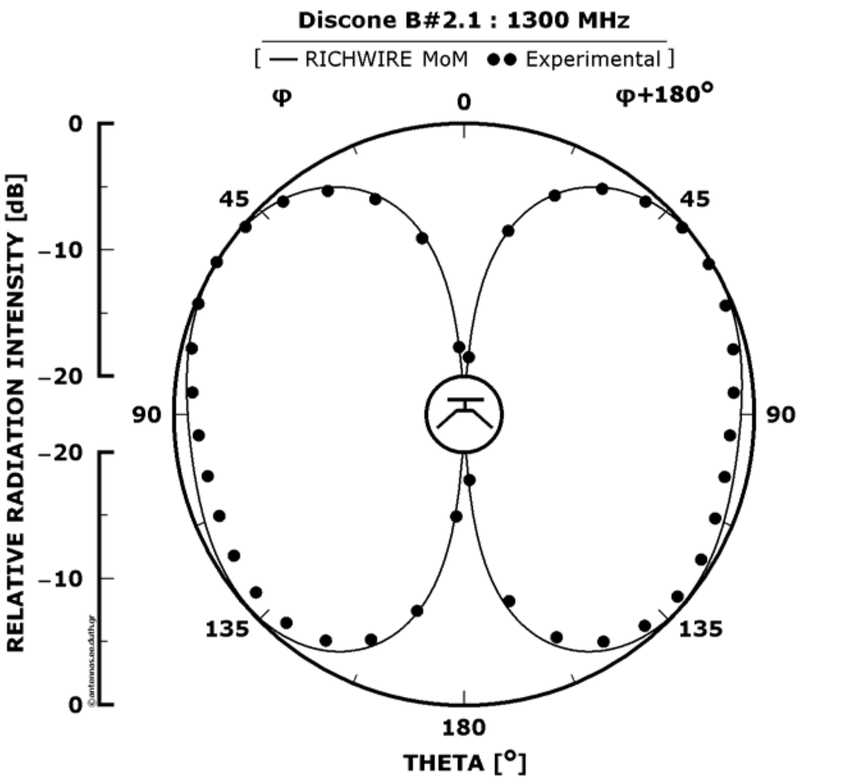
Σχήμα 5.4.4.7: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



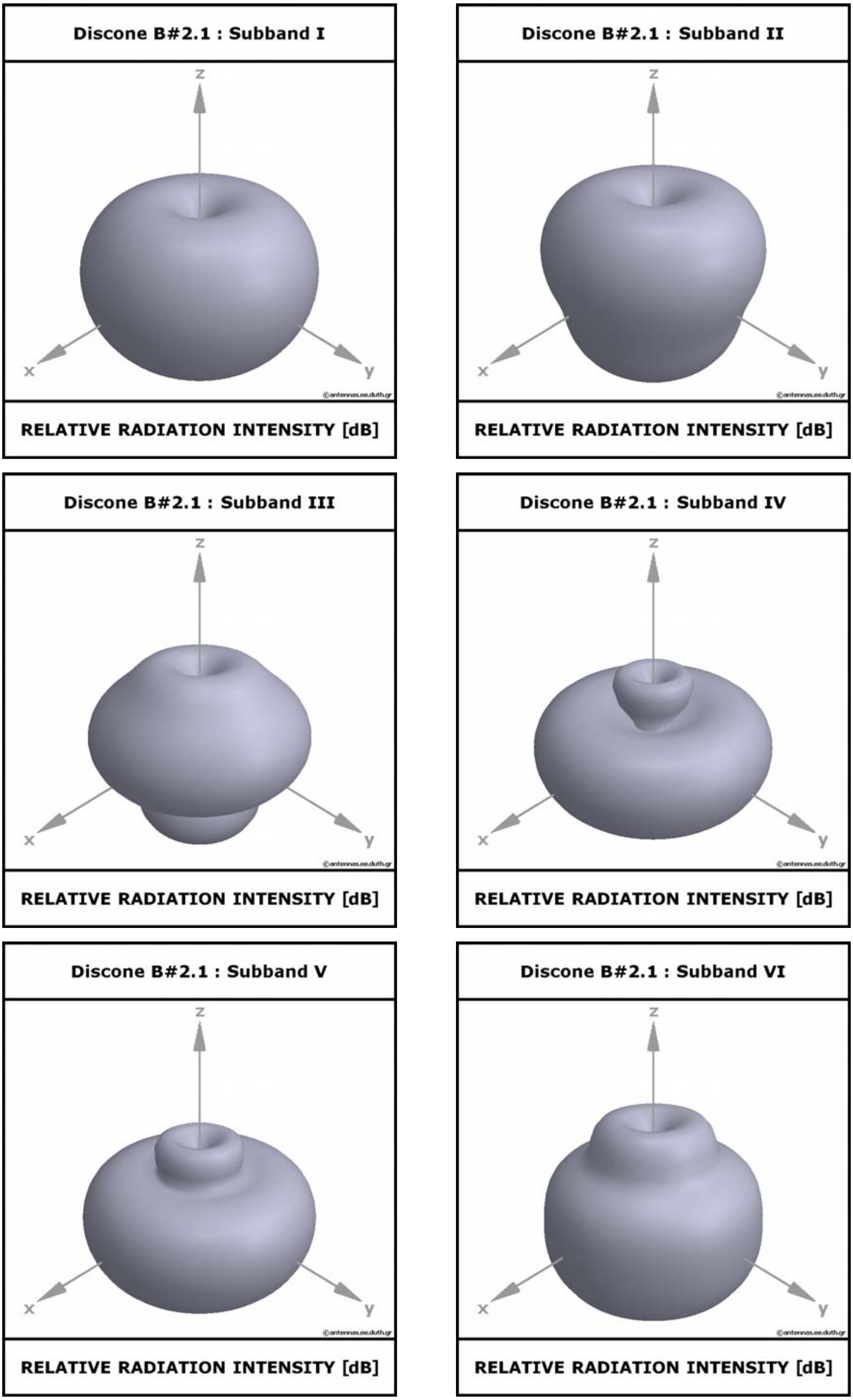


Σχήμα 5.4.4.8: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.





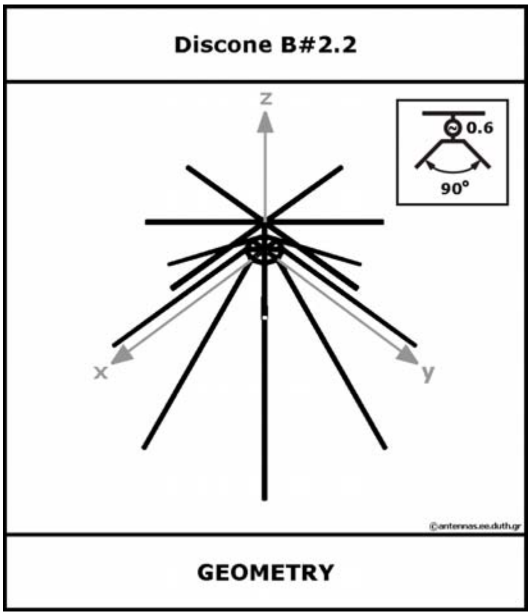
Σχήμα 5.4.4.9: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



Σχήμα 5.4.4.10: Σχετική ένταση ακτινοβολίας στην κεντρική συχνότητα κάθε υποζώνης.

5.4.5 : Discone B#2.2.

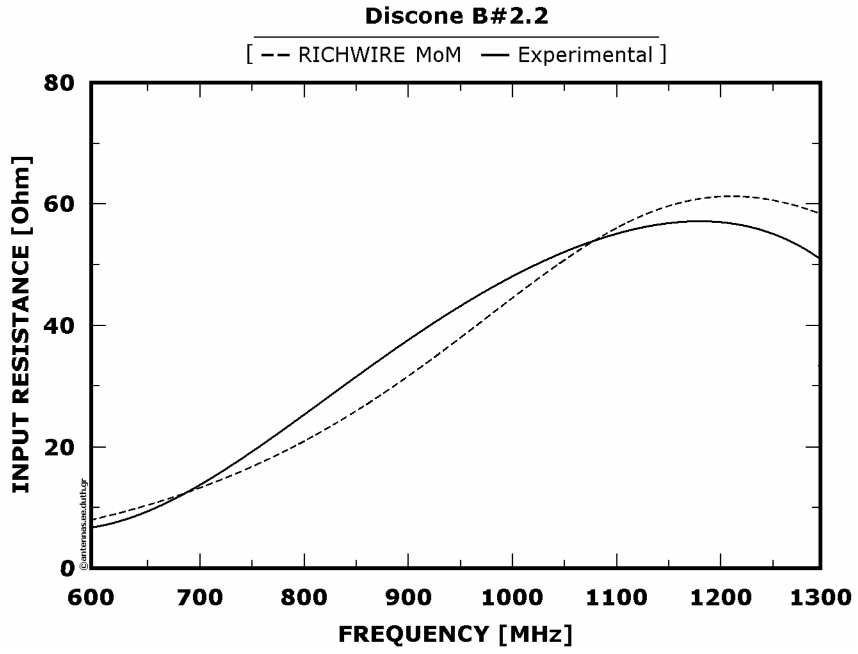
Τα χαρακτηριστικά της κεραίας δίνονται στον Πίνακα 5.4.5.1.



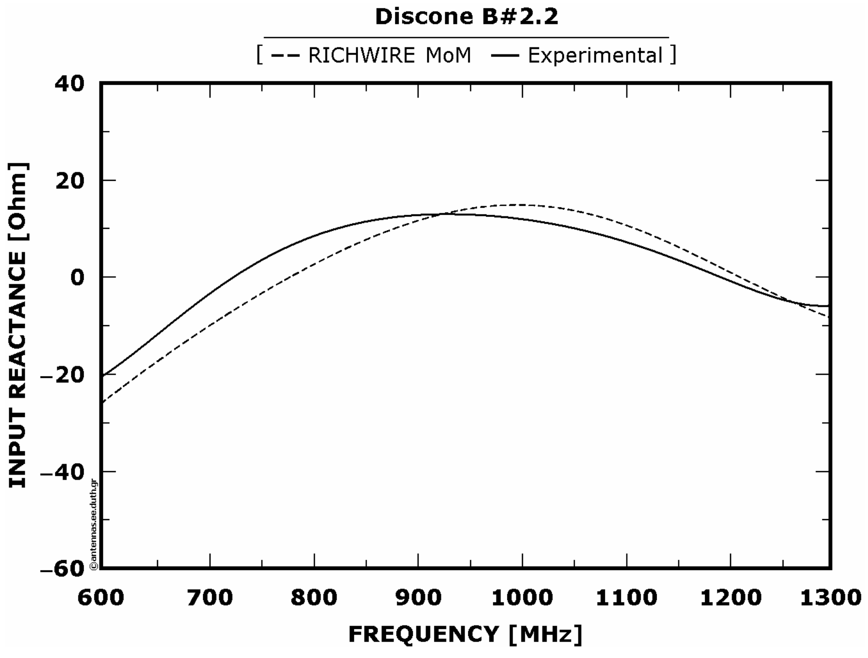
Σχήμα 5.4.5.1: Γεωμετρία της Discone B#2.2.

Πίνακας 5.4.5.1: Χαρακτηριστικά της κεραίας B#2.2.

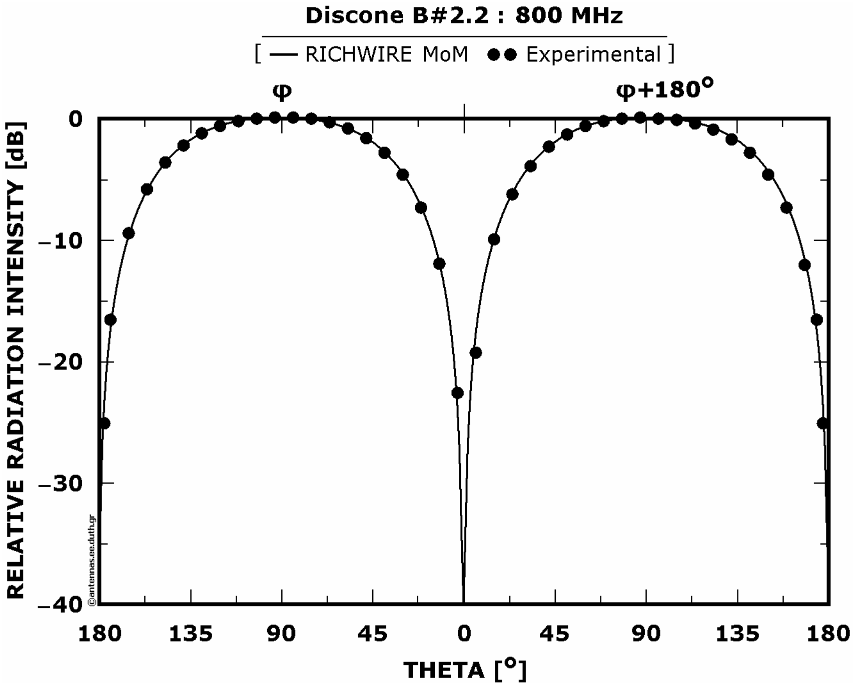
Αριθμός ακτίνων δίσκου	8
Αριθμός ακτίνων κώνου	8
Διάμετρος δίσκου D [cm]	12.4
Απόσταση δίσκου-κώνου s [cm]	0.6
Απόστημα κώνου L [cm]	12.5
Γωνία κώνου α [°]	90
Περιοχή συχνοτήτων προσομοίωσης [MHz]	[600, 2500]
Περιοχή συχνοτήτων μέτρησης [MHz]	[600, 1300]
Περιοχή συχνοτήτων με VSWR ≤ 2 [MHz]	[850, 1650] ∧ [2280, 2500]
Κατευθυντικότητα [dBi]	[0.78, 4.09]

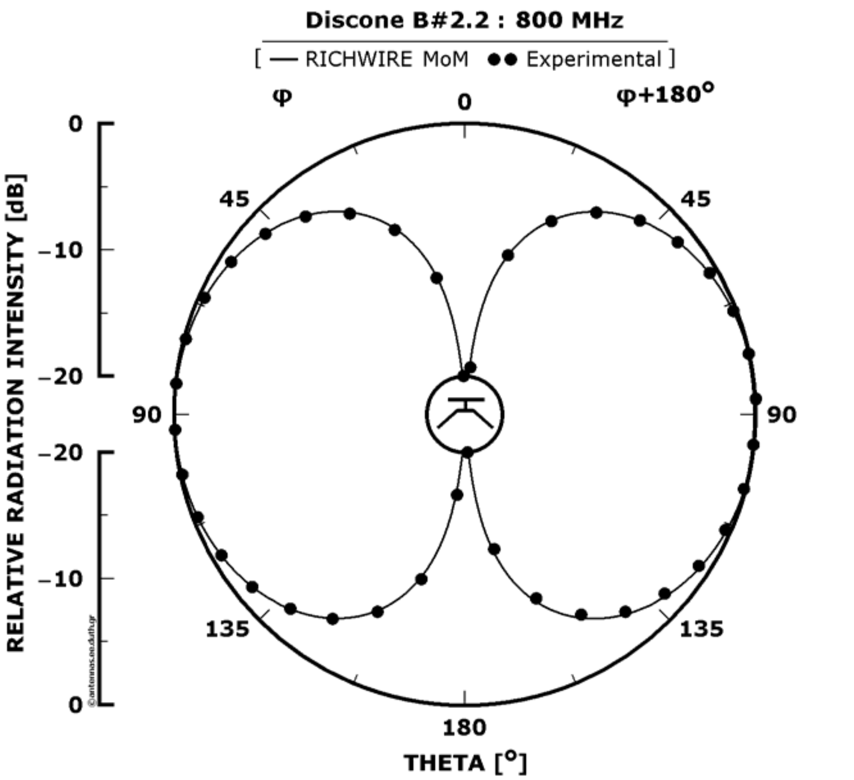


Σχήμα 5.4.5.2: Πραγματικό μέρος της σύνθετης αντίστασης εισόδου.

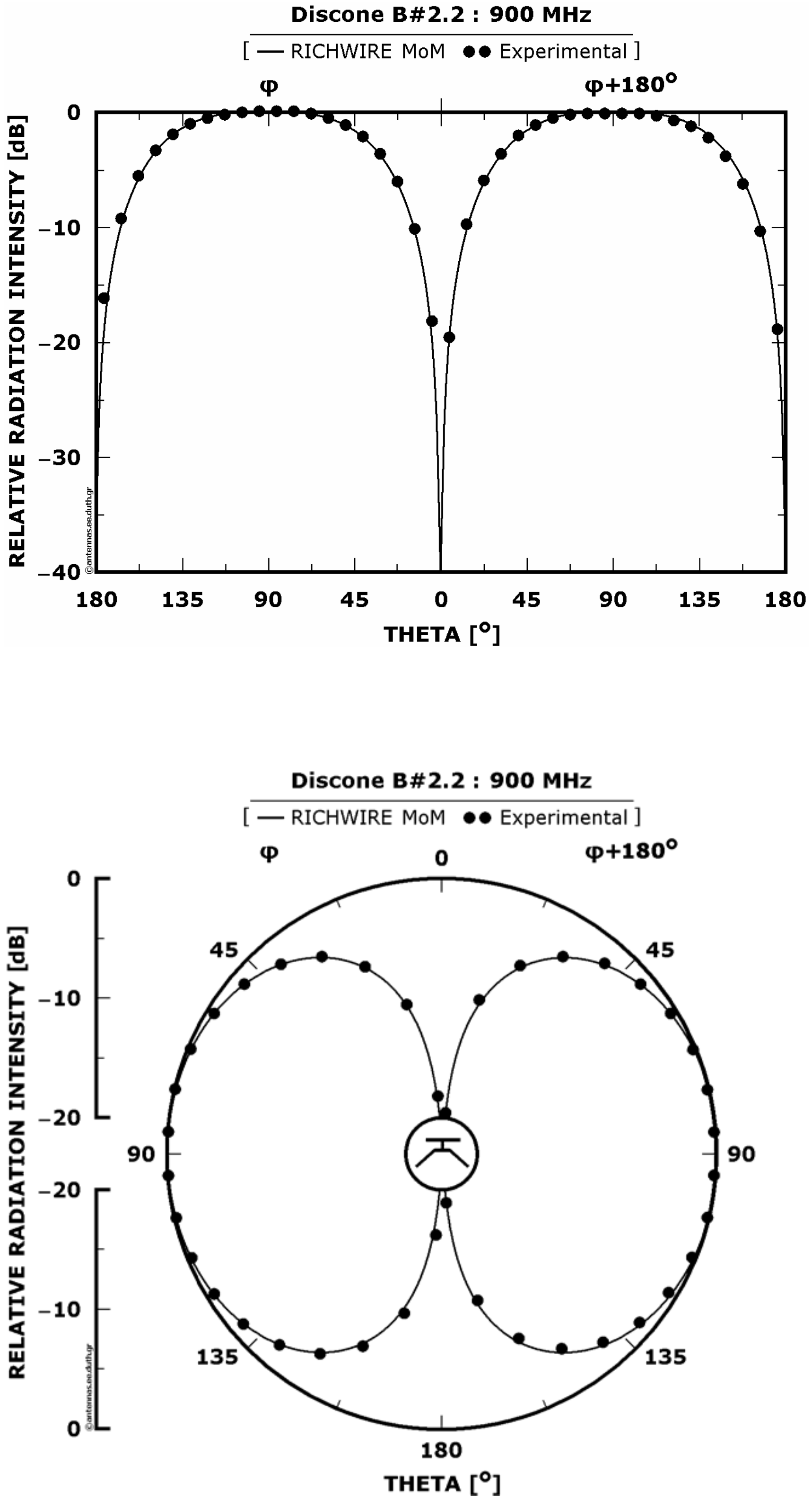


Σχήμα 5.4.5.3: Φανταστικό μέρος της σύνθετης αντίστασης εισόδου.

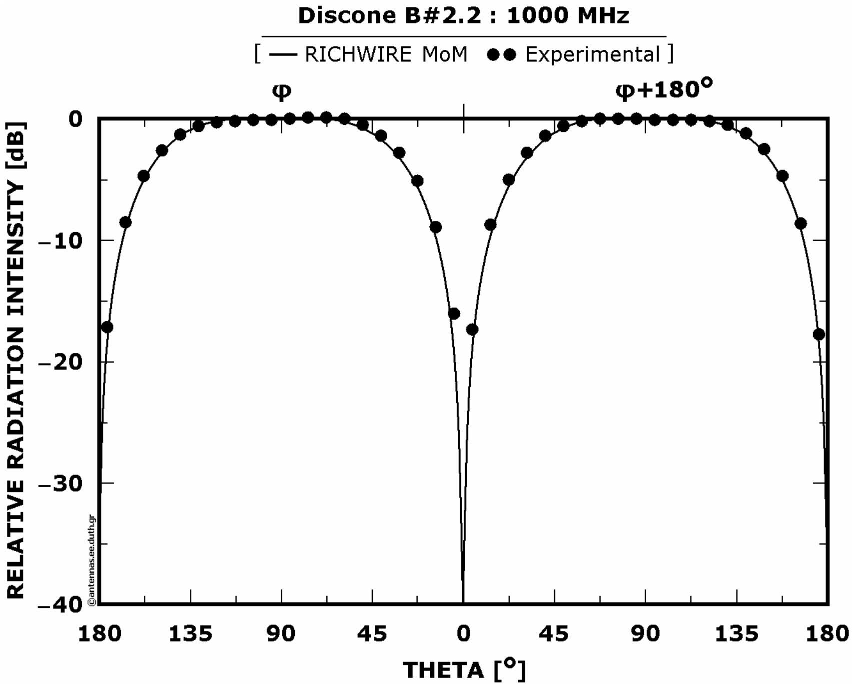


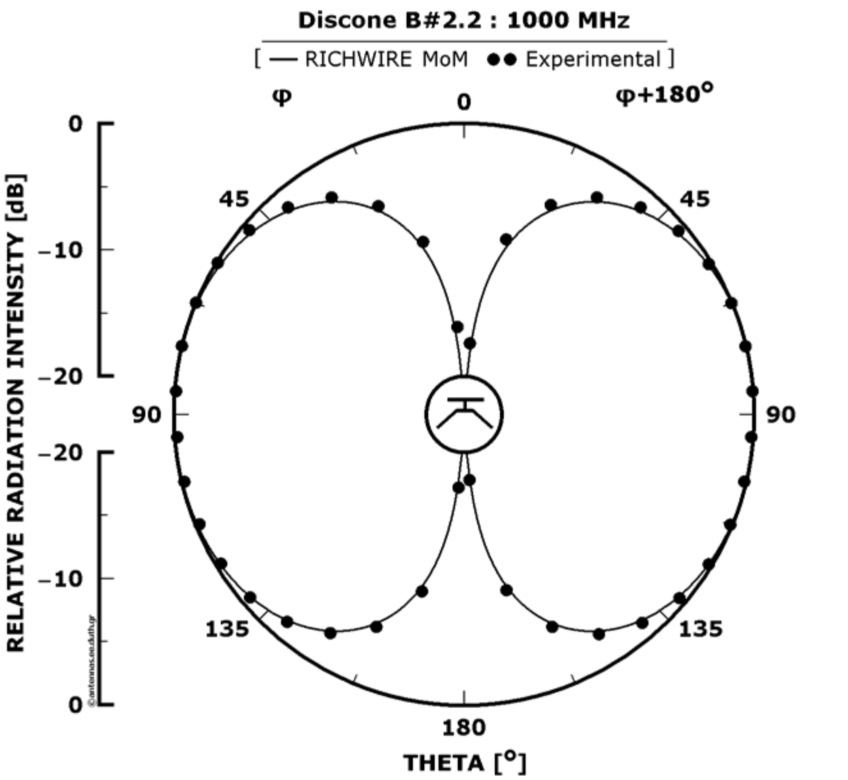


Σχήμα 5.4.5.4: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.

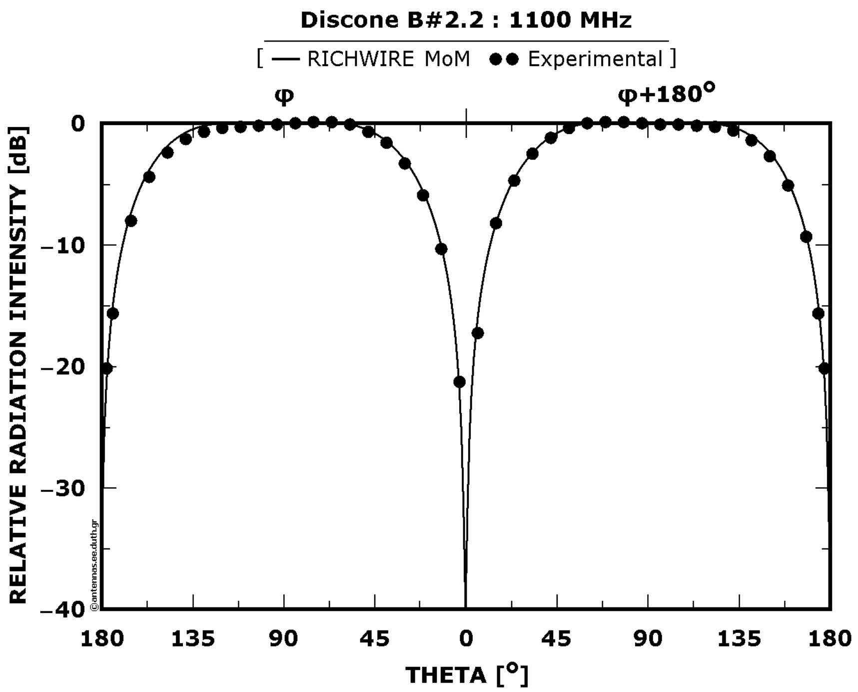


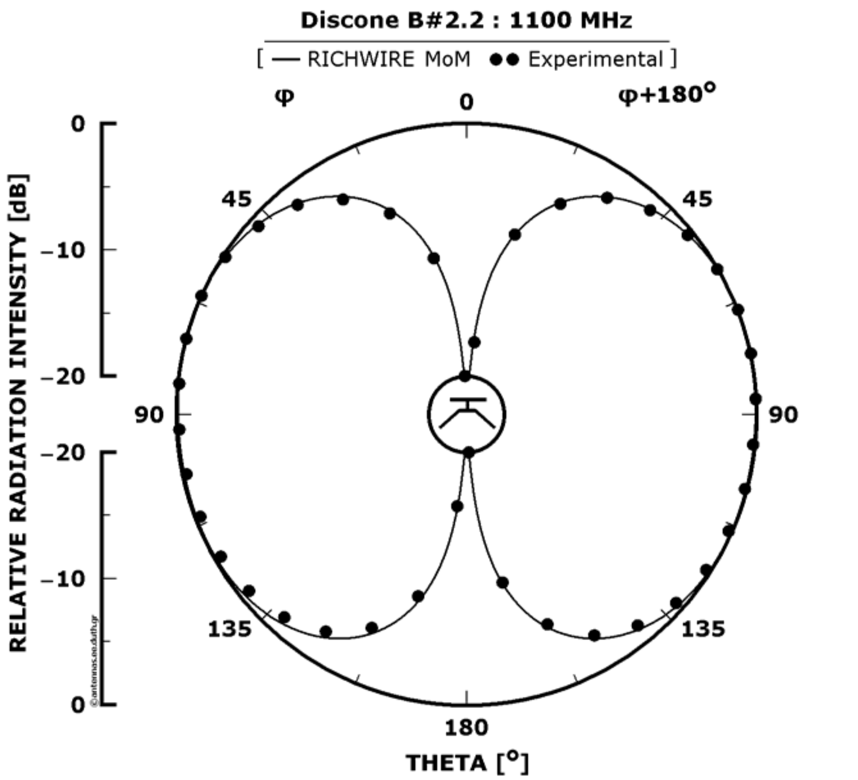
Σχήμα 5.4.5.5: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



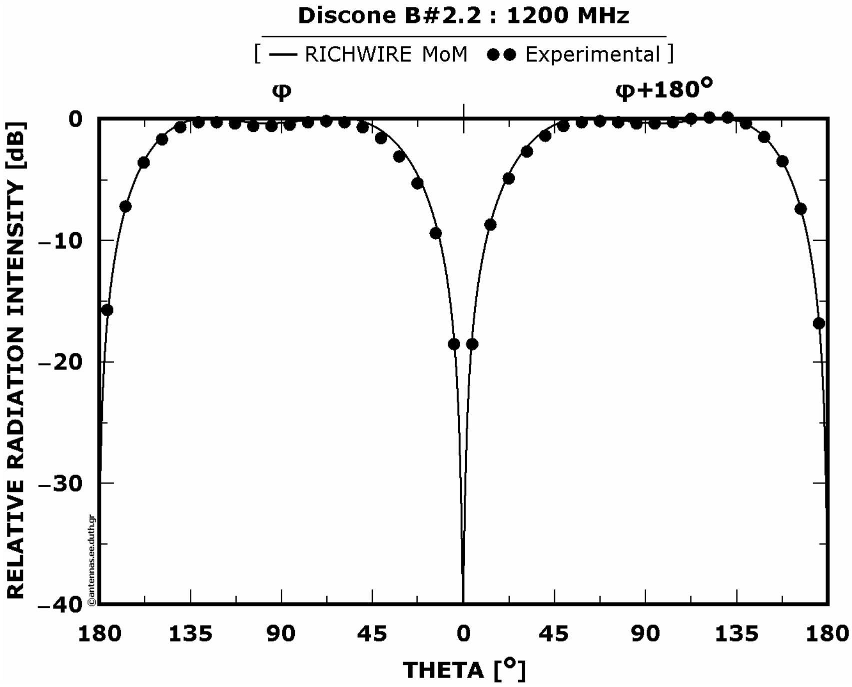


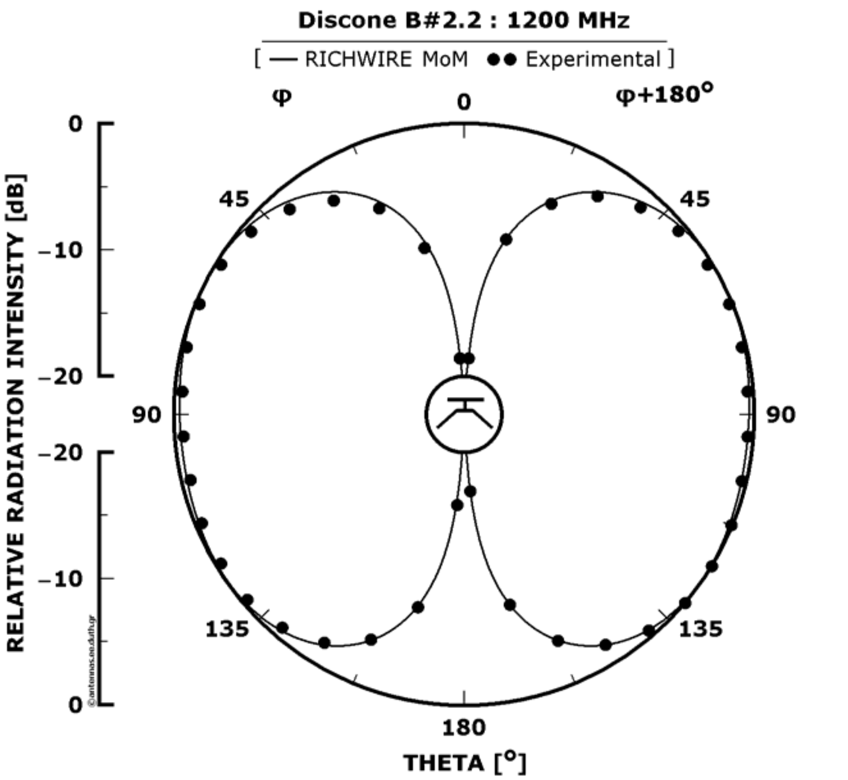
Σχήμα 5.4.5.6: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



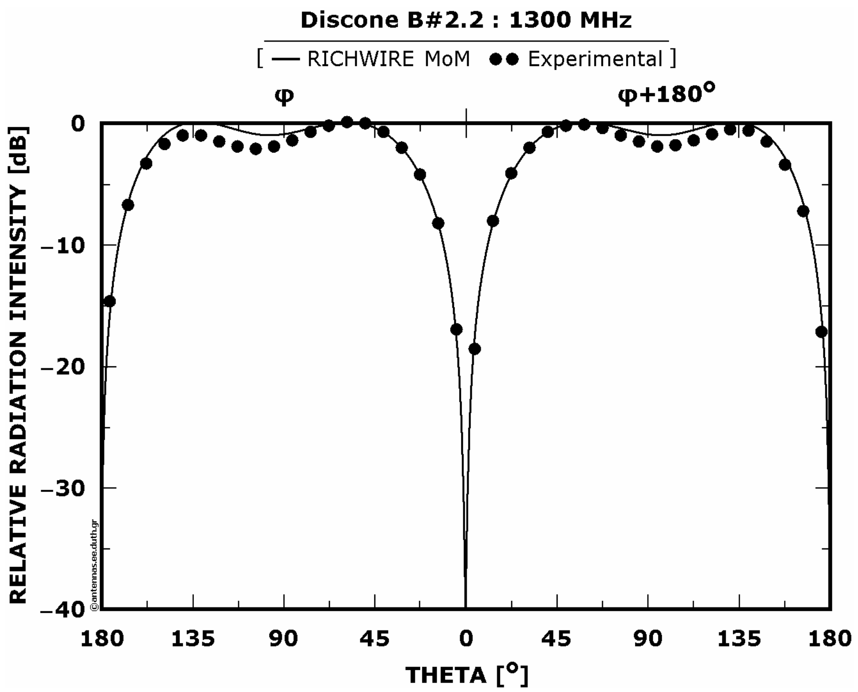


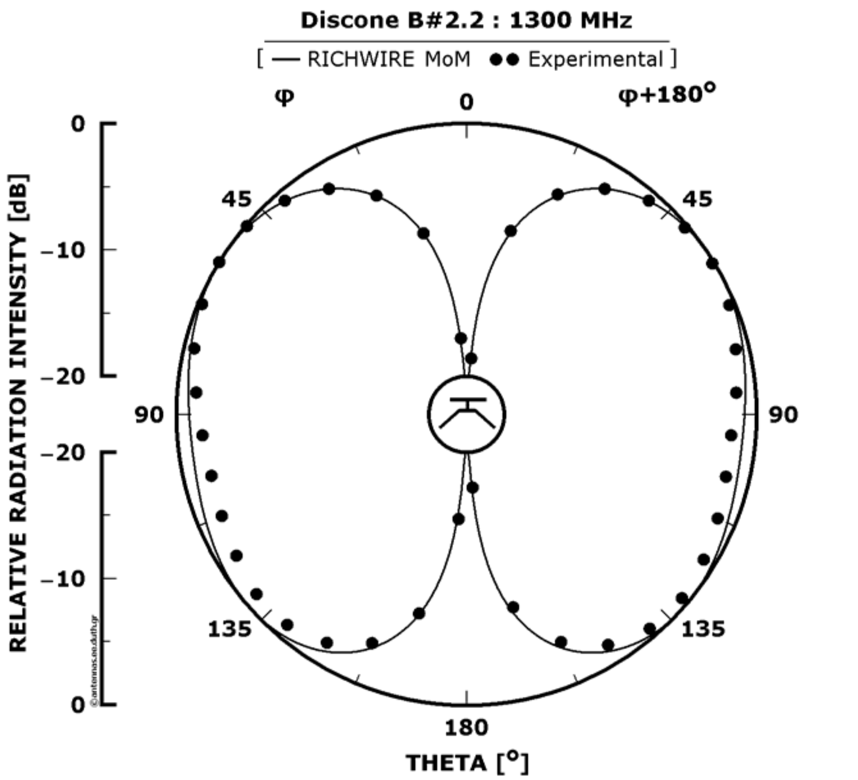
Σχήμα 5.4.5.7: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



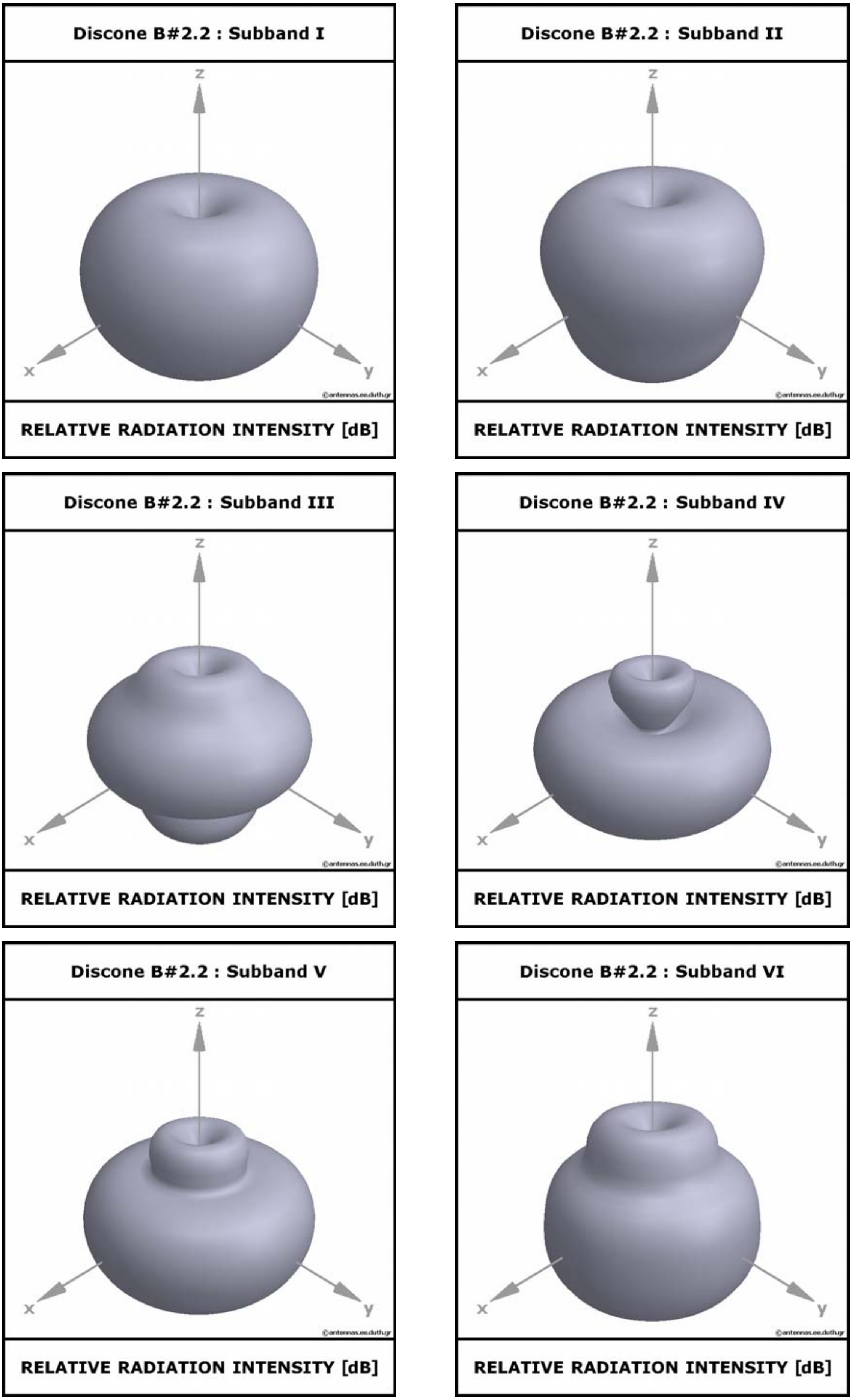


Σχήμα 5.4.5.8: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.





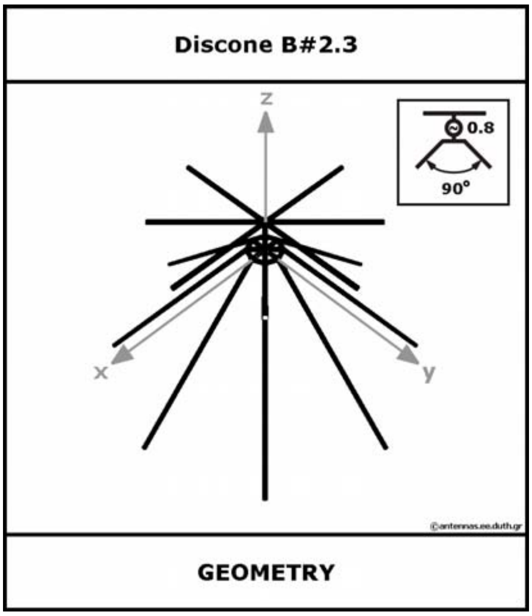
Σχήμα 5.4.5.9: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



Σχήμα 5.4.5.10: Σχετική ένταση ακτινοβολίας στην κεντρική συχνότητα κάθε υποζώνης.

5.4.6 : Discone B#2.3.

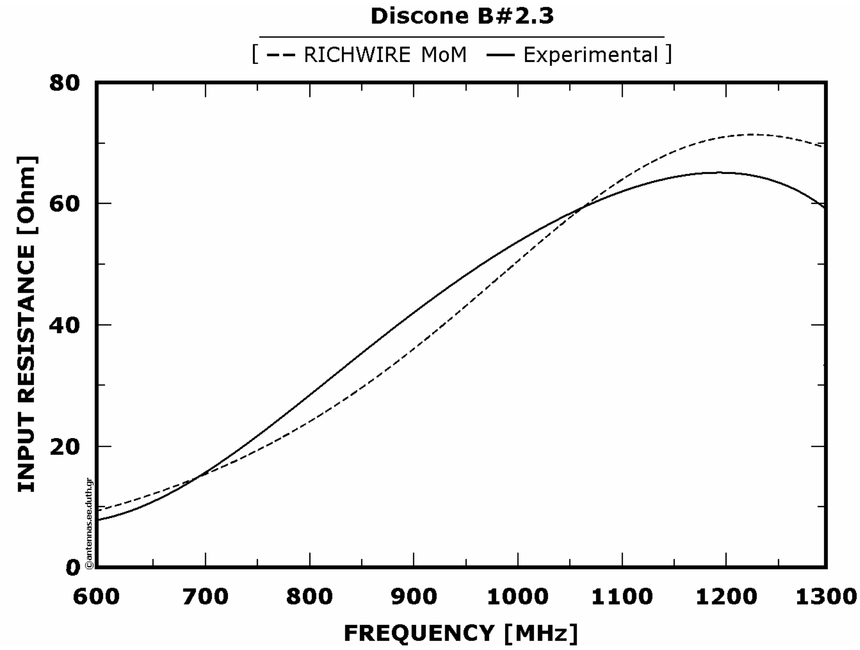
Τα χαρακτηριστικά της κεραίας δίνονται στον Πίνακα 5.4.6.1.



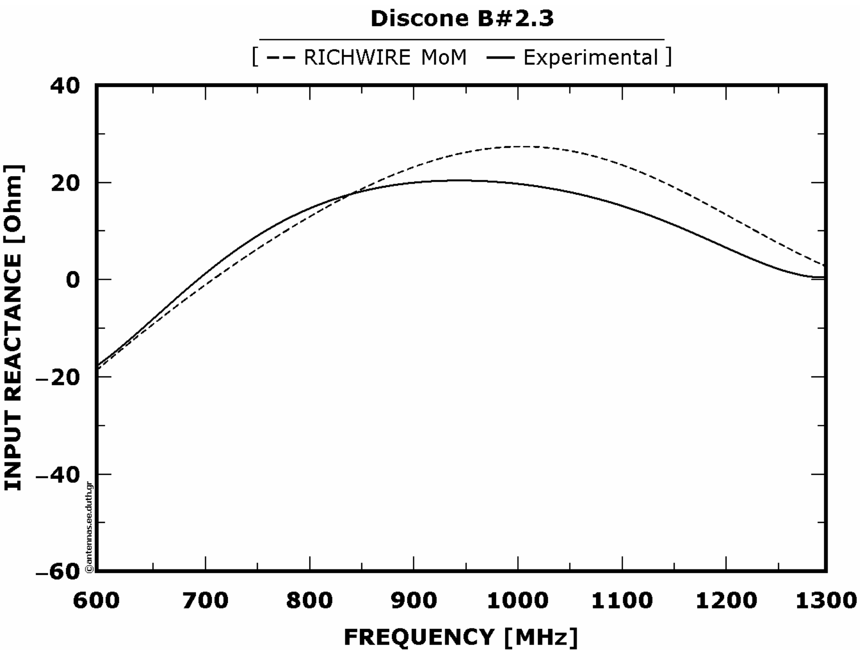
Σχήμα 5.4.6.1: Γεωμετρία της Discone B#2.3.

Πίνακας 5.4.6.1: Χαρακτηριστικά της κεραίας B#2.3.

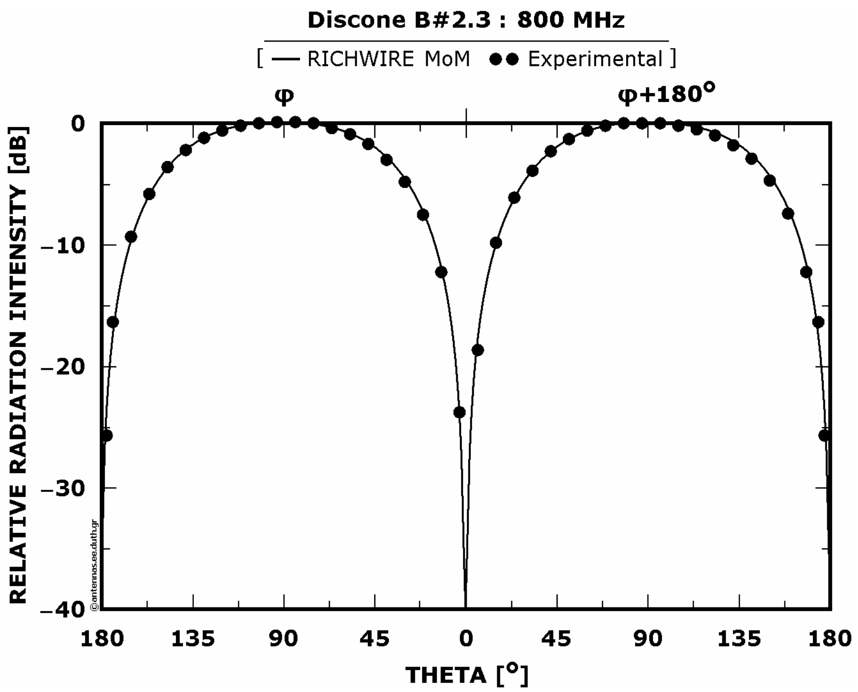
Αριθμός ακτίνων δίσκου	8
Αριθμός ακτίνων κώνου	8
Διάμετρος δίσκου D [cm]	12.4
Απόσταση δίσκου-κώνου s [cm]	0.8
Απόστημα κώνου L [cm]	12.5
Γωνία κώνου α [°]	90
Περιοχή συχνοτήτων προσομοίωσης [MHz]	[600, 2500]
Περιοχή συχνοτήτων μέτρησης [MHz]	[600, 1300]
Περιοχή συχνοτήτων με VSWR ≤ 2 [MHz]	[850, 1660] ∧ [2350, 2500]
Κατευθυντικότητα [dBi]	[0.75, 4.21]

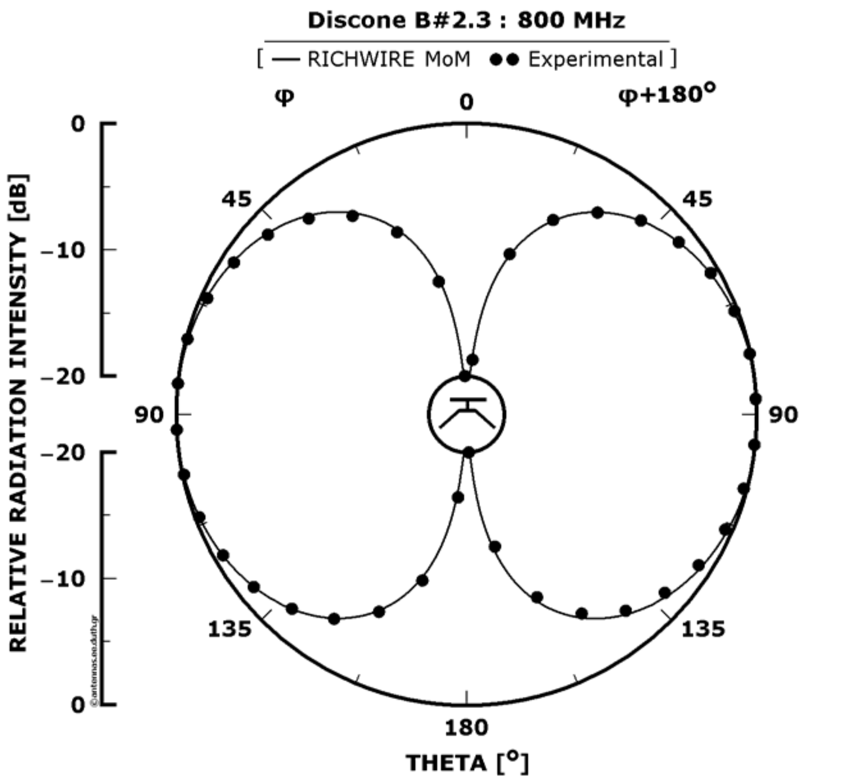


Σχήμα 5.4.6.2: Πραγματικό μέρος της σύνθετης αντίστασης εισόδου.

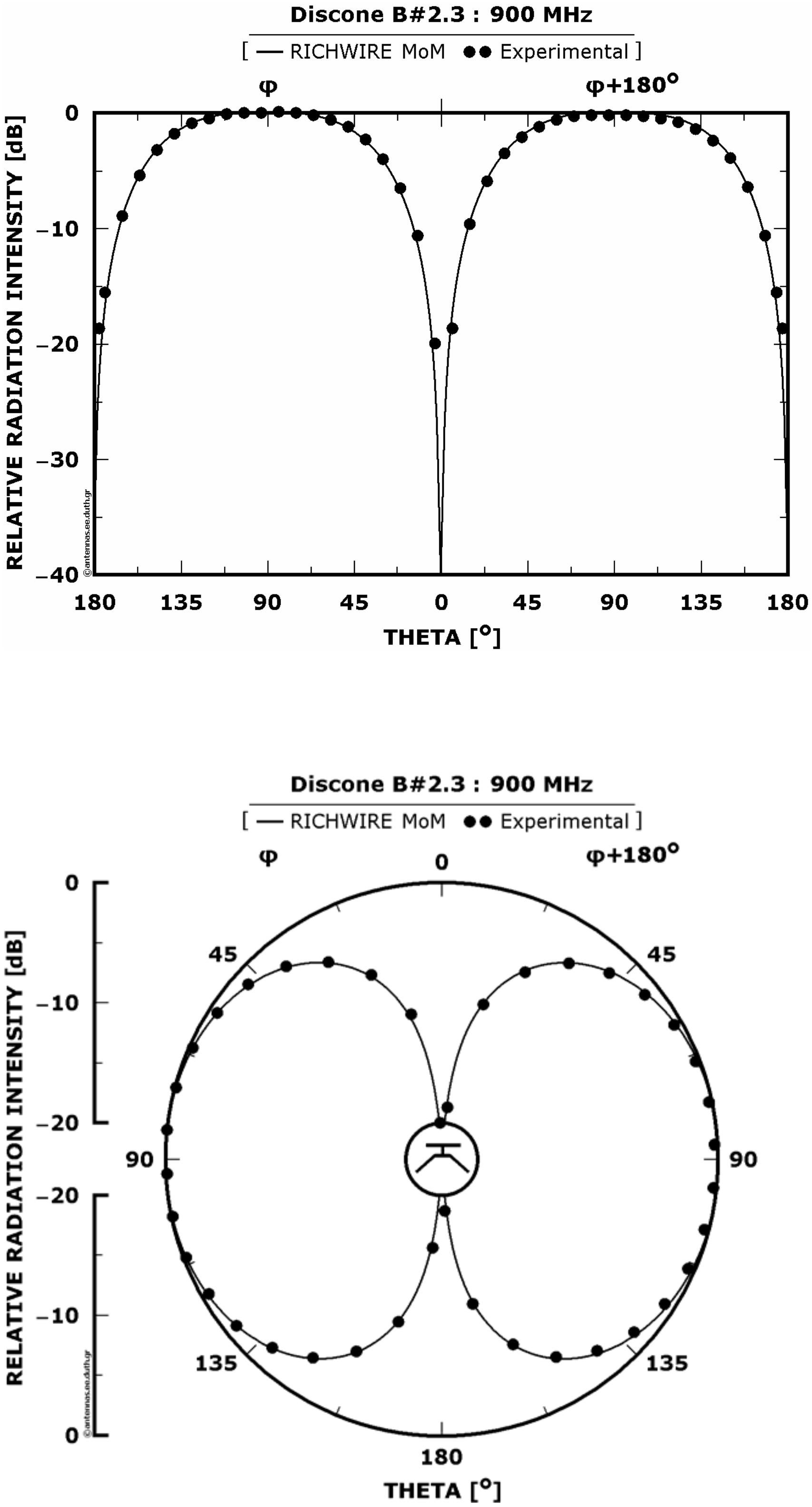


Σχήμα 5.4.6.3: Φανταστικό μέρος της σύνθετης αντίστασης εισόδου.

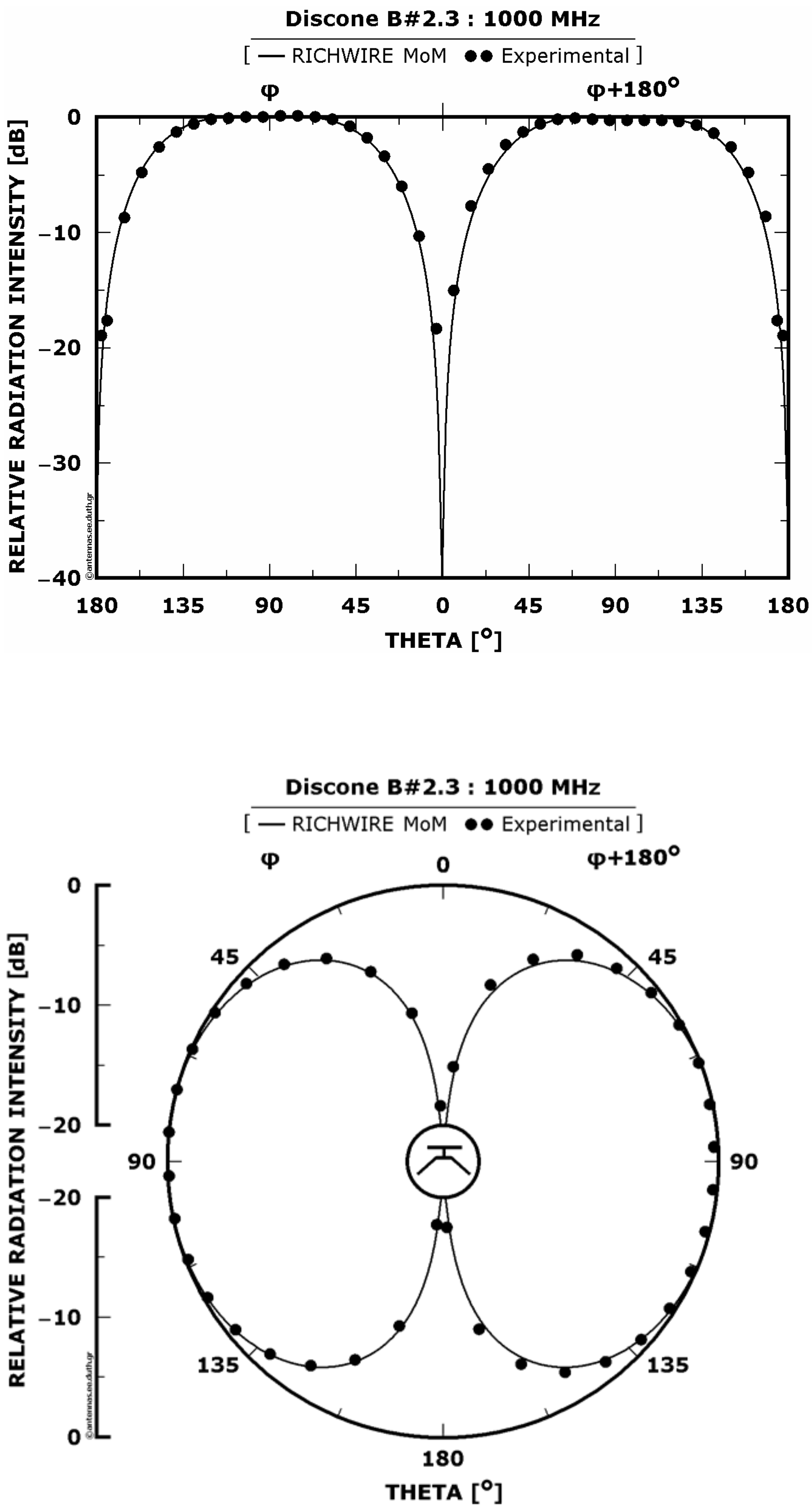




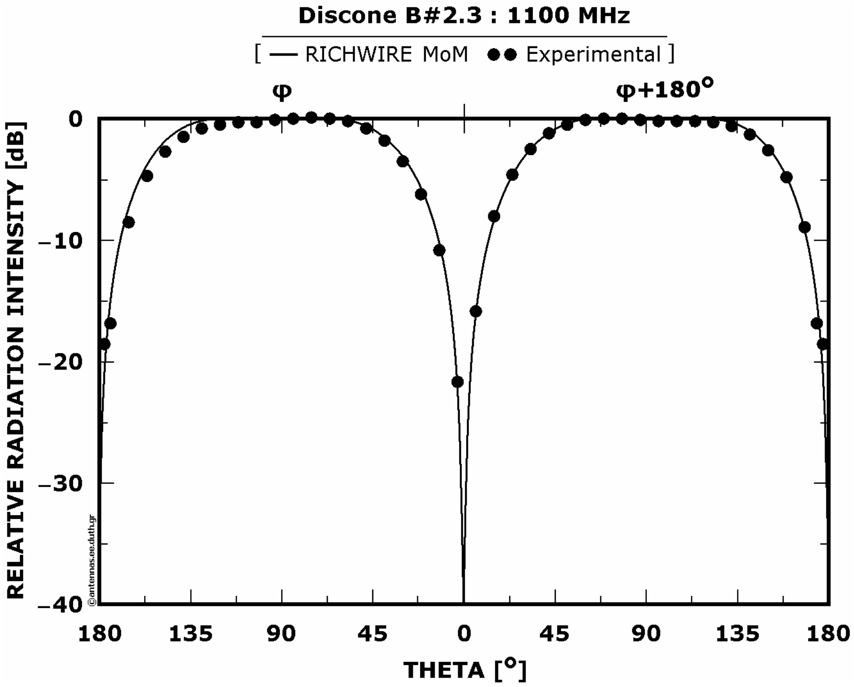
Σχήμα 5.4.6.4: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.

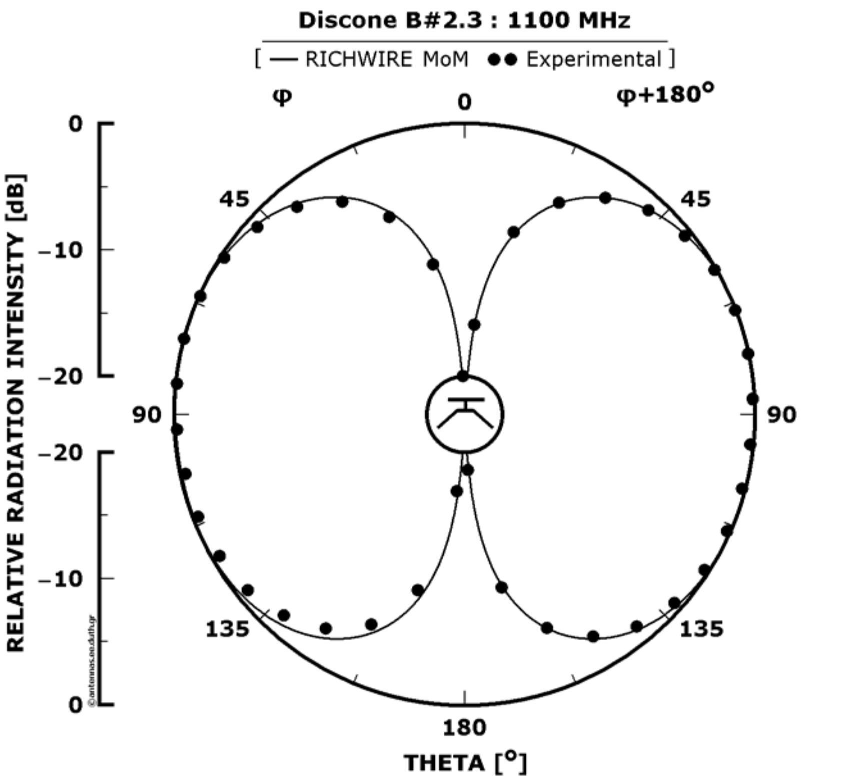


Σχήμα 5.4.6.5: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.

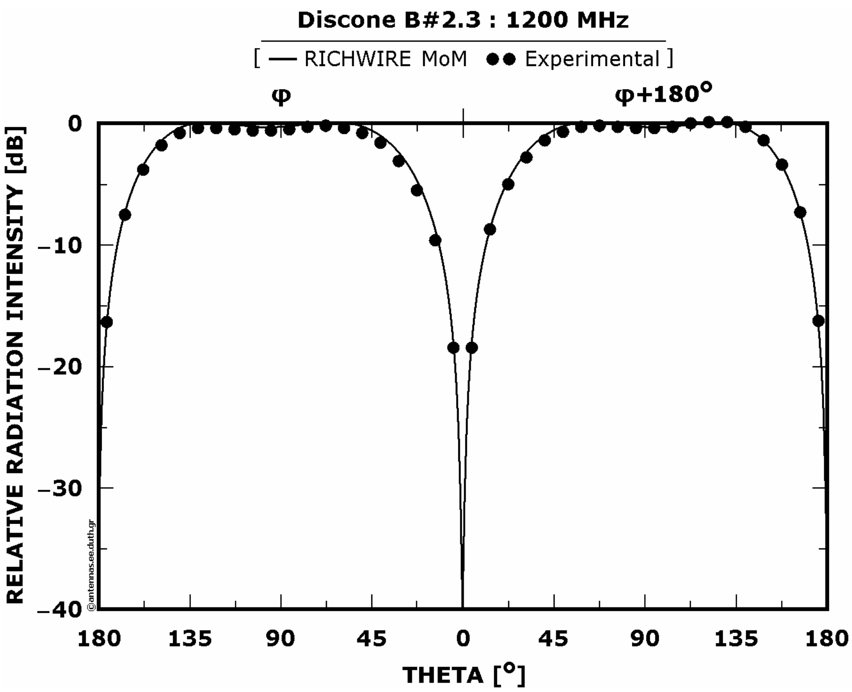


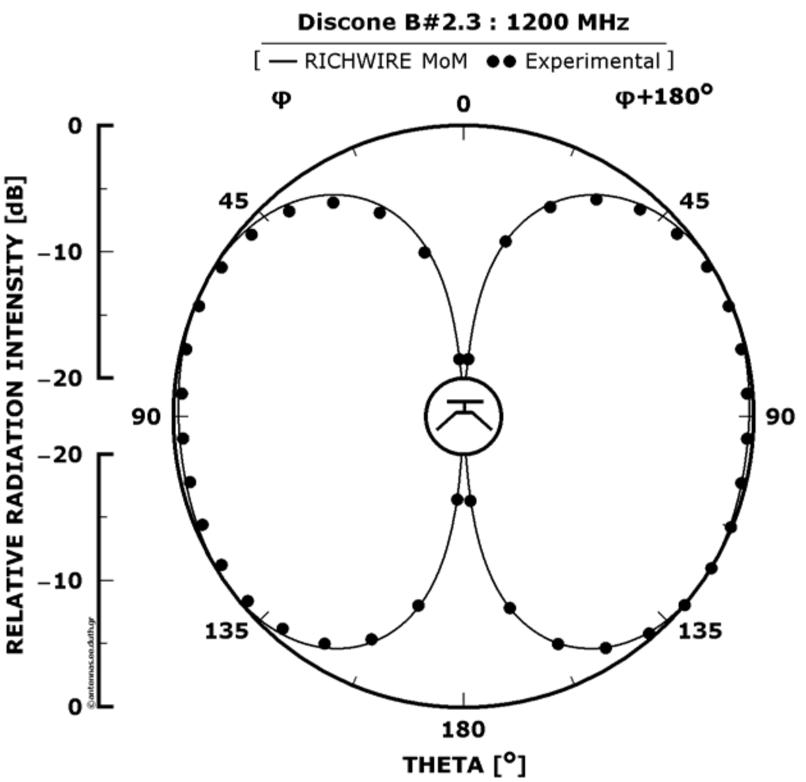
<u>Σχήμα 5.4.6.6</u>: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



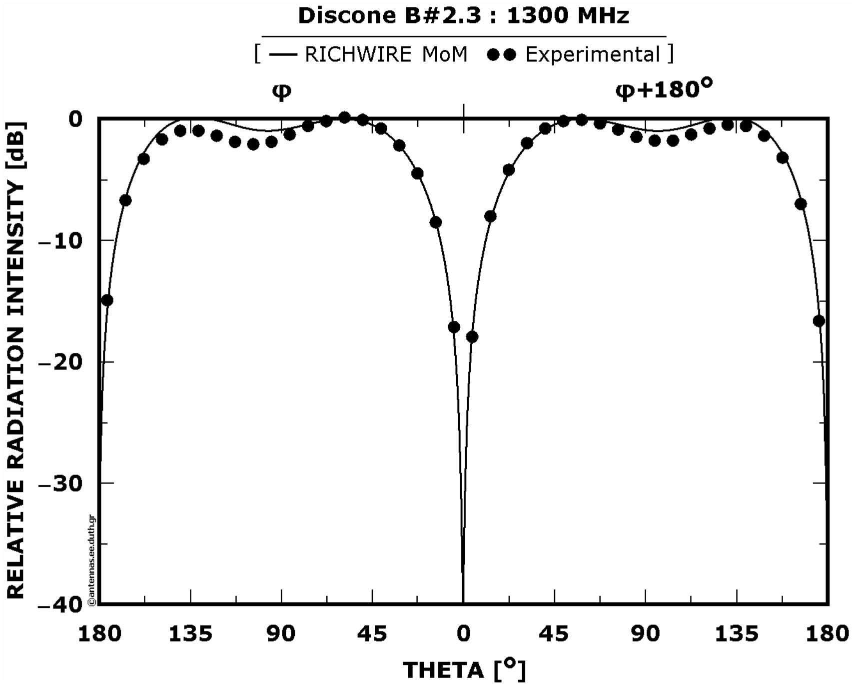


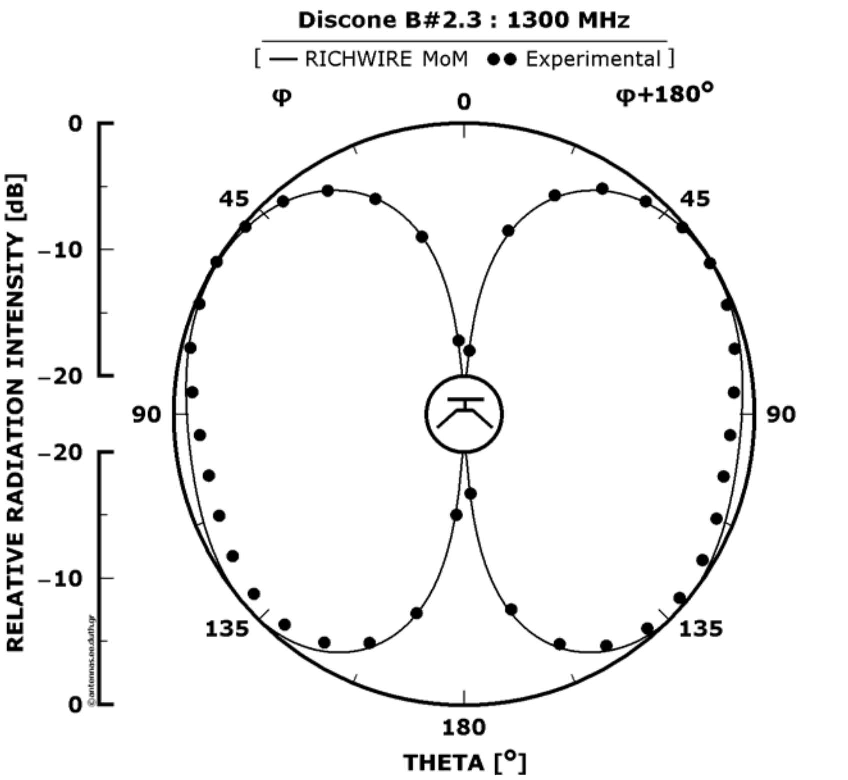
Σχήμα 5.4.6.7: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



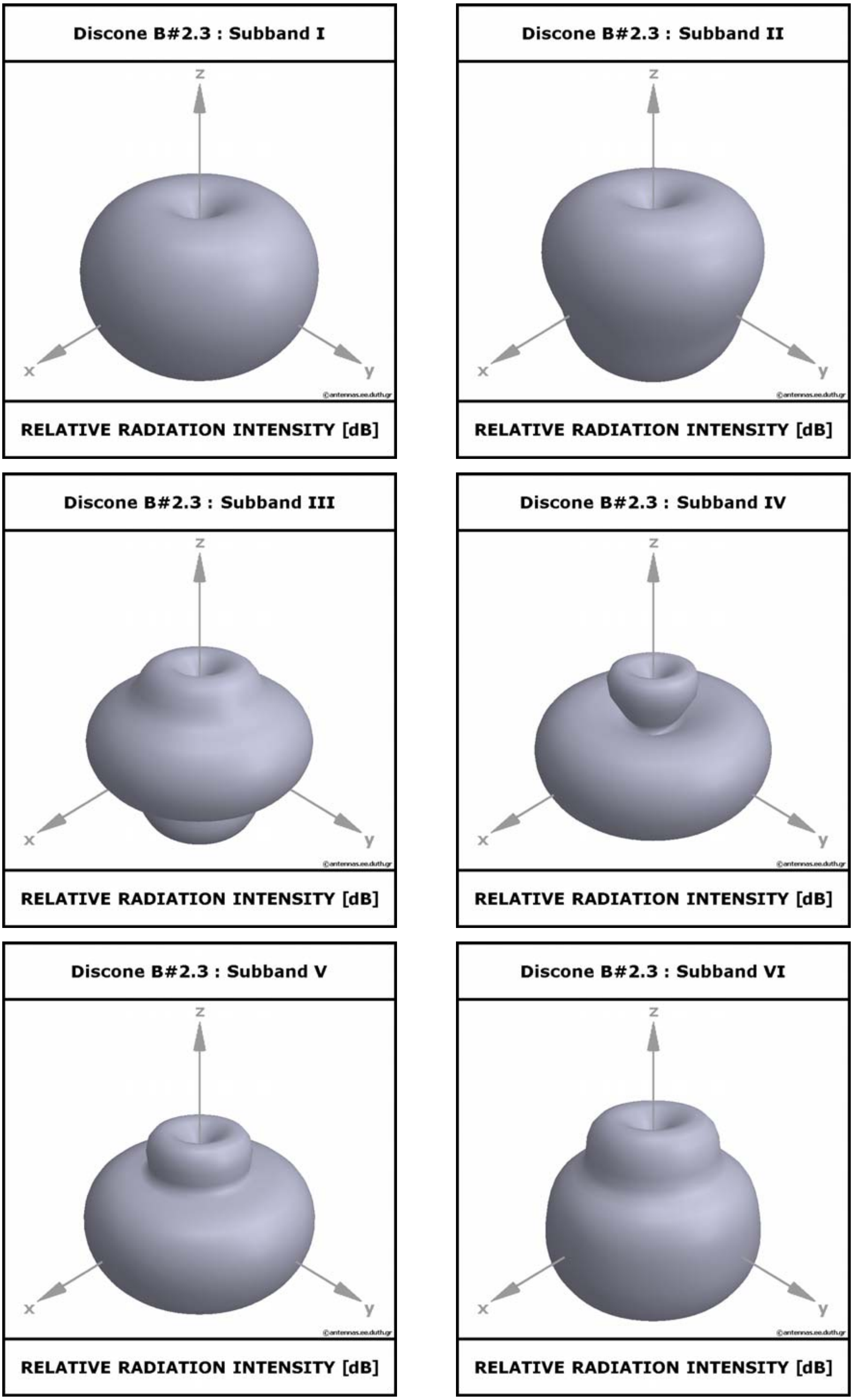


<u>Σχήμα 5.4.6.8</u>: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.





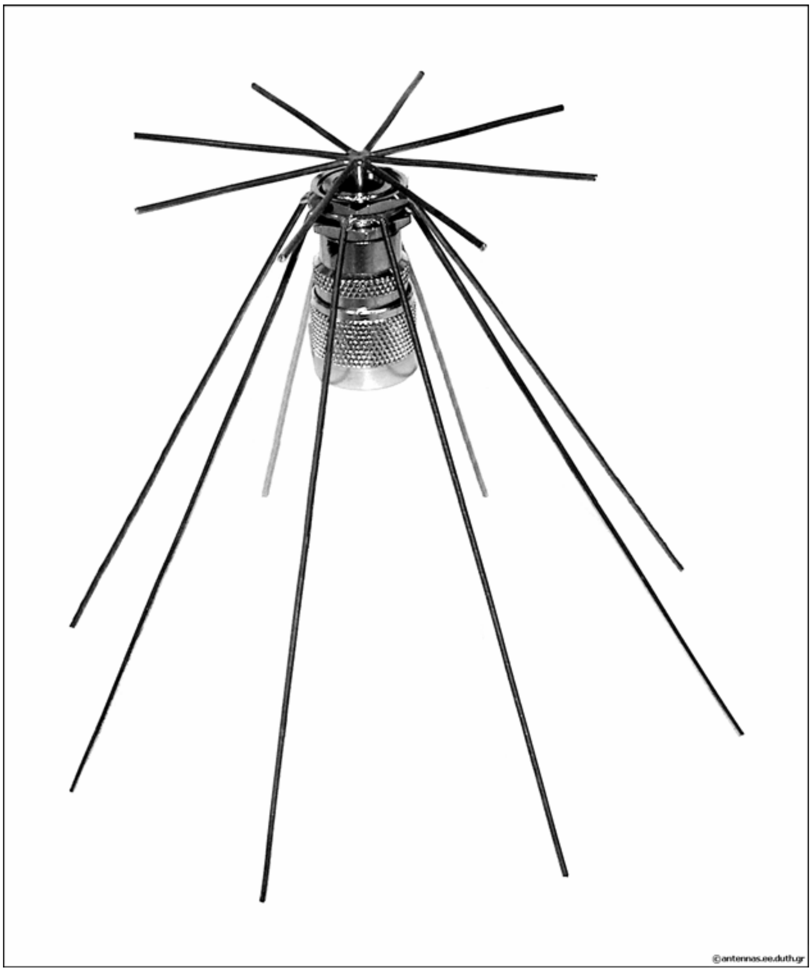
Σχήμα 5.4.6.9: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



Σχήμα 5.4.6.10: Σχετική ένταση ακτινοβολίας στην κεντρική συχνότητα κάθε υποζώνης.

5.5 : Κατασκευές Ομάδας C.

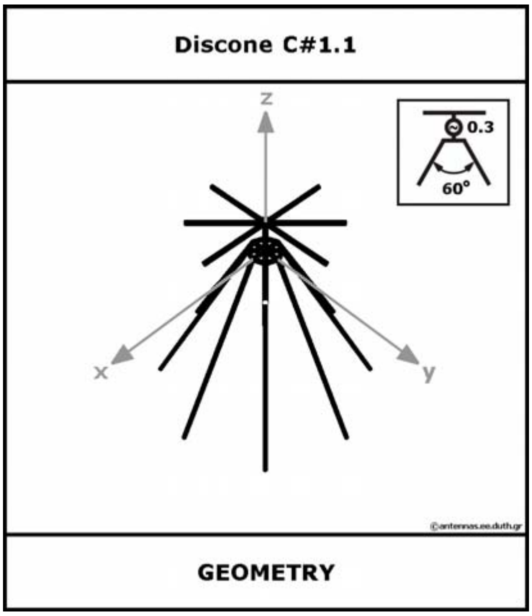
Οι κεραίες Skeleton Discone της ομάδας αυτής κατατάσσονται σε δύο υποομάδες με κύριο χαρακτηριστικό της κάθε υποομάδας το μήκος της διαμέτρου του δίσκου. Έτσι, στην πρώτη υποομάδα η διάμετρος του δίσκου είναι 9.4cm ενώ στην δεύτερη είναι 8.8cm. Στο Σχήμα 5.5.1 φαίνεται μια Skeleton Discone της ομάδας C.



Σχήμα 5.5.1: Discone ομάδας C.

5.5.1 : Discone C#1.1.

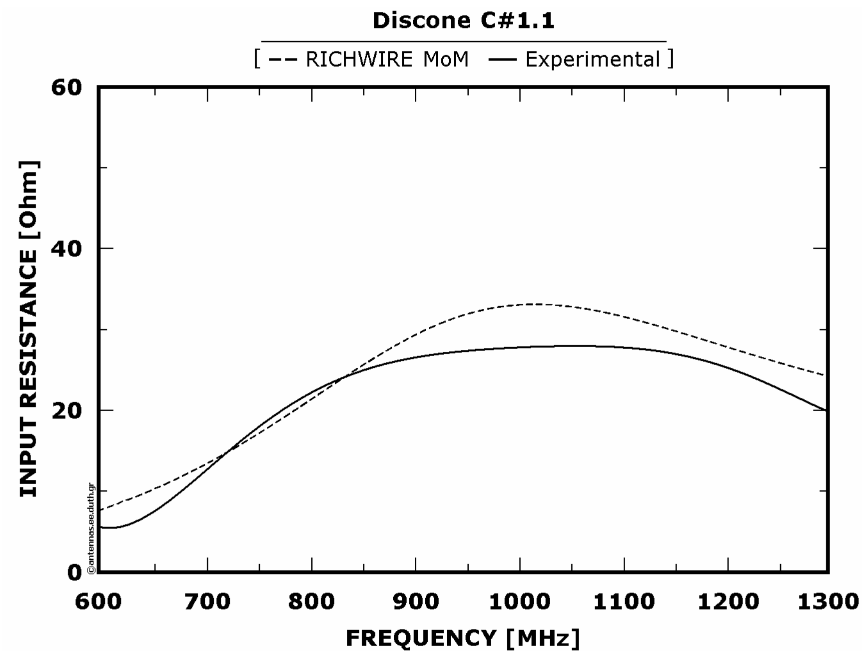
Τα χαρακτηριστικά της κεραίας δίνονται στον Πίνακα 5.5.1.1.



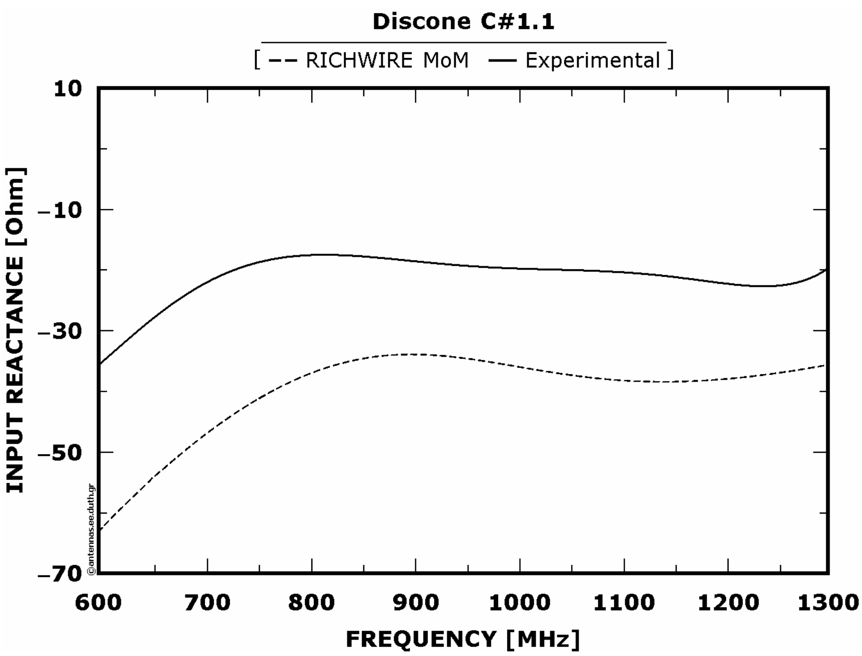
Σχήμα 5.5.1.1: Γεωμετρία της Discone C#1.1.

Πίνακας 5.5.1.1: Χαρακτηριστικά της κεραίας C#1.1.

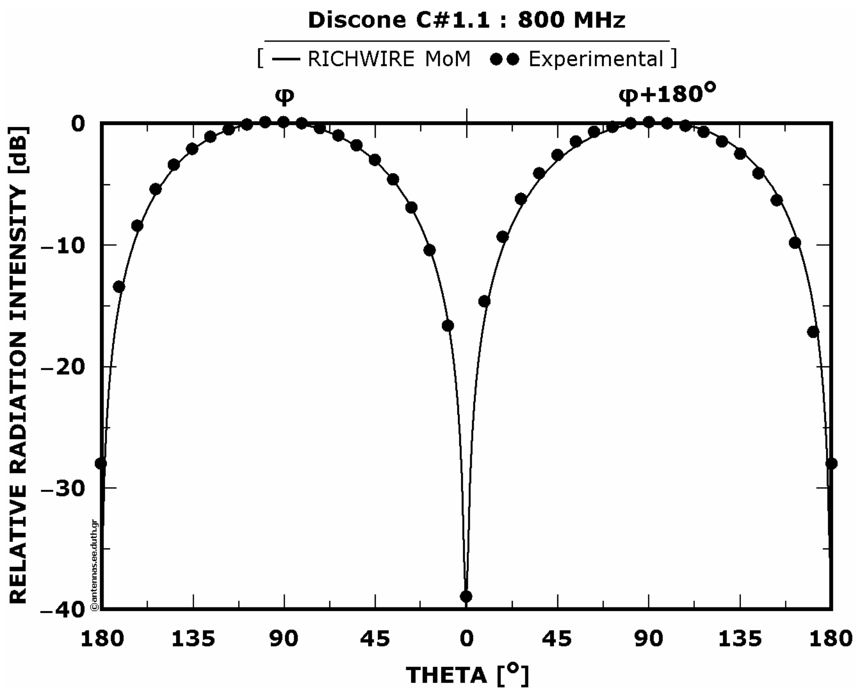
Αριθμός ακτίνων δίσκου	8
Αριθμός ακτίνων κώνου	8
Διάμετρος δίσκου D [cm]	9.4
Απόσταση δίσκου-κώνου s [cm]	0.3
Απόστημα κώνου L [cm]	12.5
Γωνία κώνου α [°]	60
Περιοχή συχνοτήτων προσομοίωσης [MHz]	[600, 2500]
Περιοχή συχνοτήτων μέτρησης [MHz]	[600, 1300]
Περιοχή συχνοτήτων με VSWR ≤ 2 [MHz]	[1960, 2210]
Κατευθυντικότητα [dBi]	[1.63, 5.24]

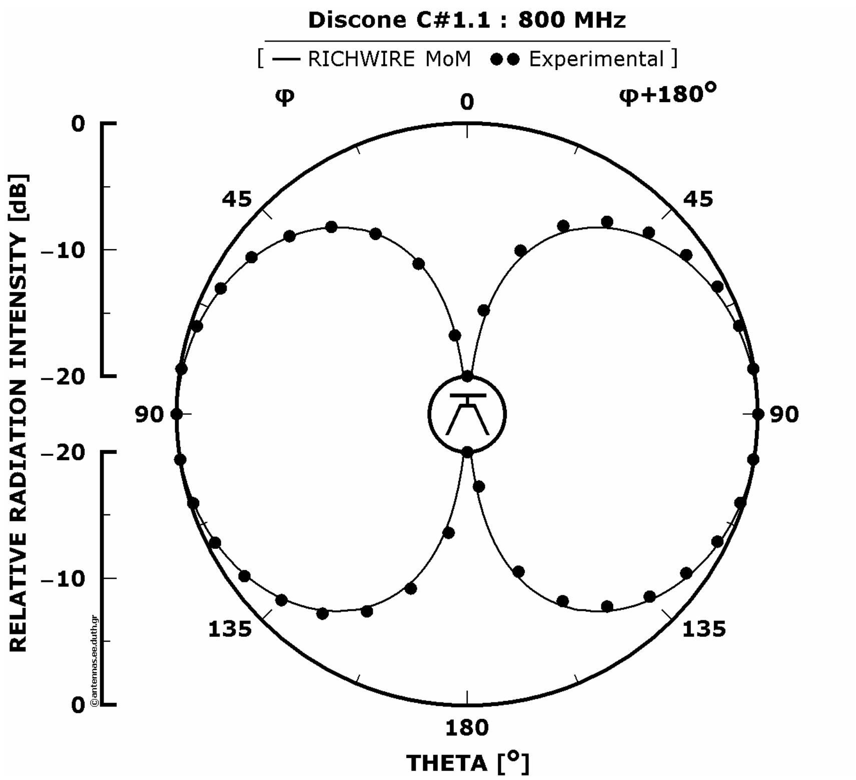


Σχήμα 5.5.1.2: Πραγματικό μέρος της σύνθετης αντίστασης εισόδου.

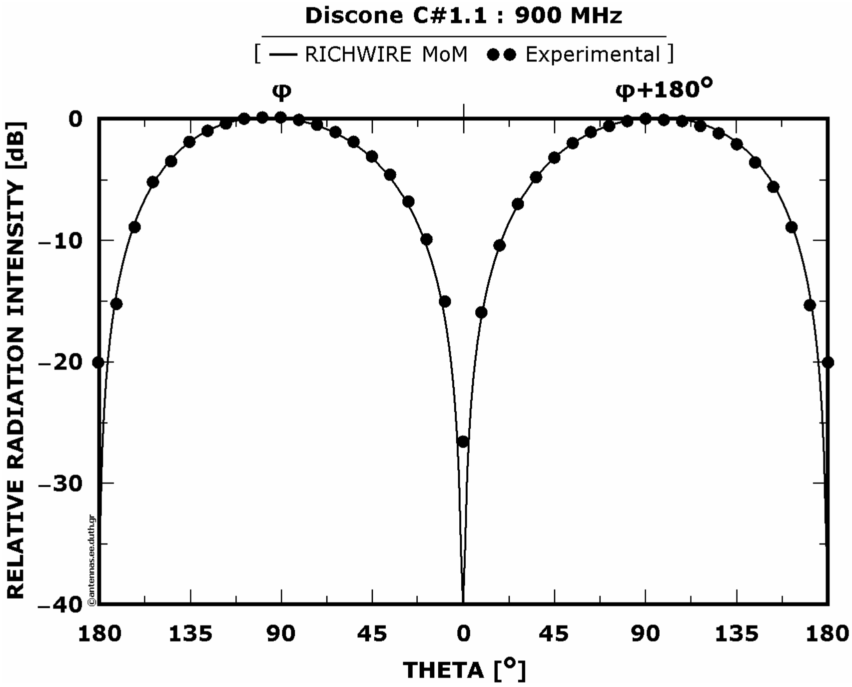


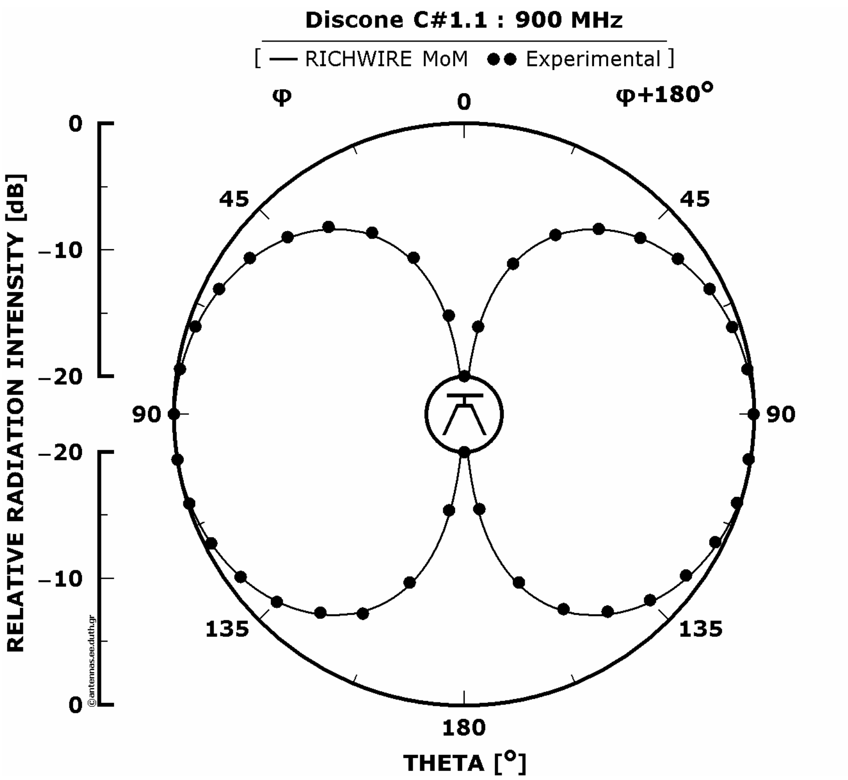
Σχήμα 5.5.1.3: Φανταστικό μέρος της σύνθετης αντίστασης εισόδου.



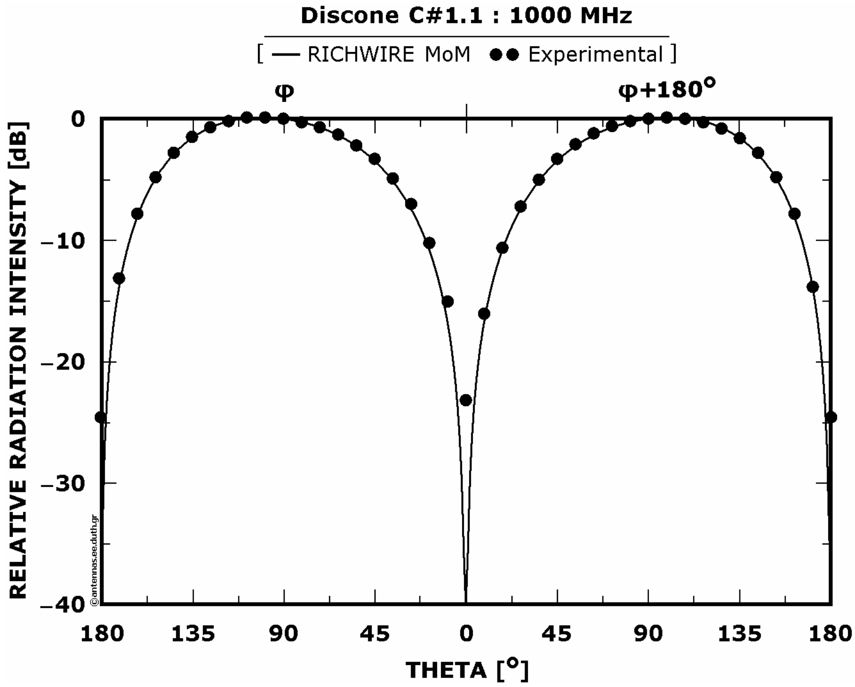


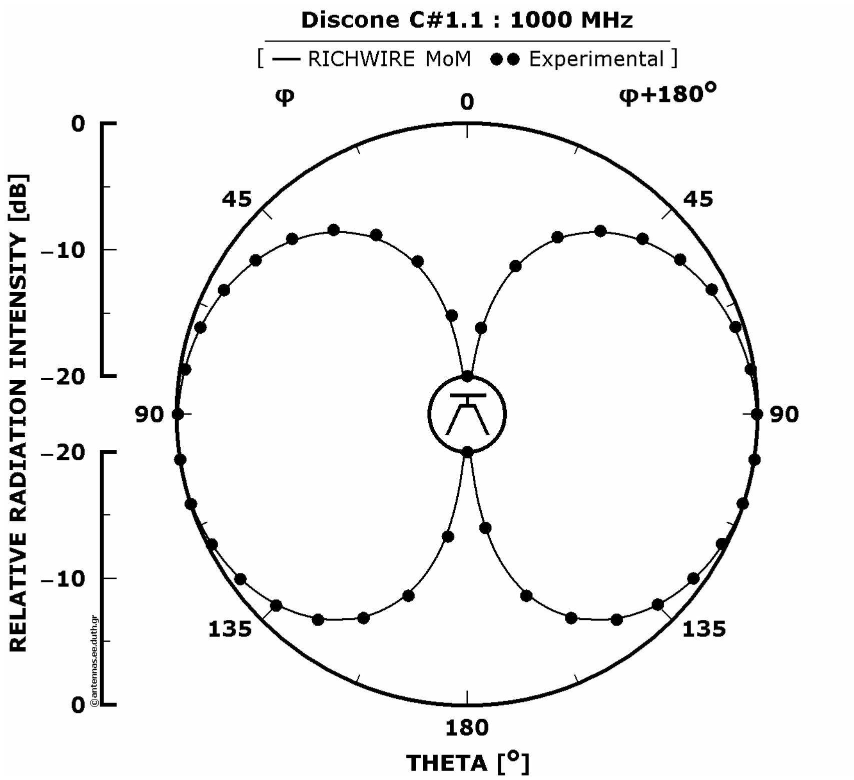
Σχήμα 5.5.1.4: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



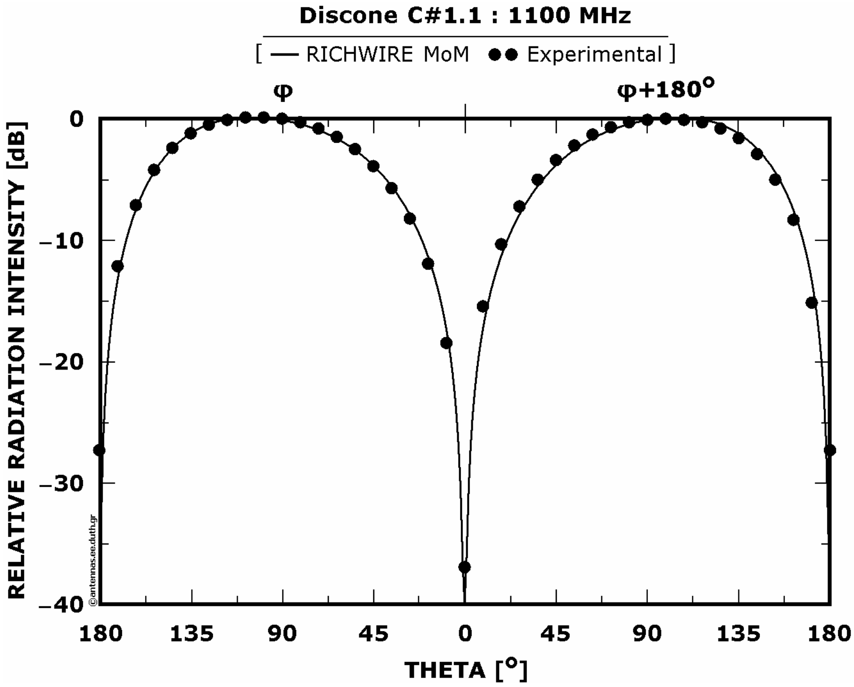


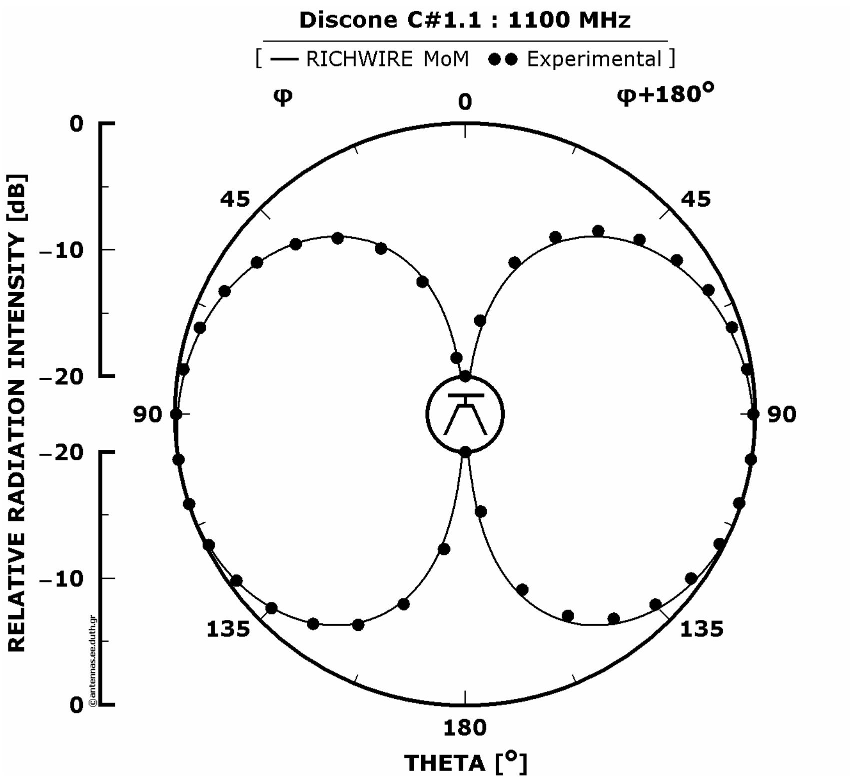
Σχήμα 5.5.1.5: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



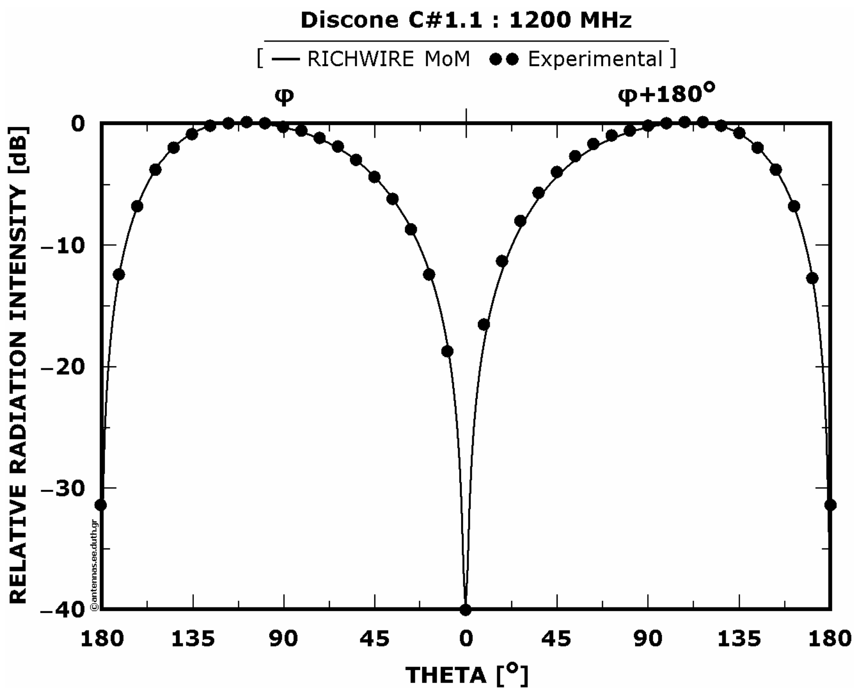


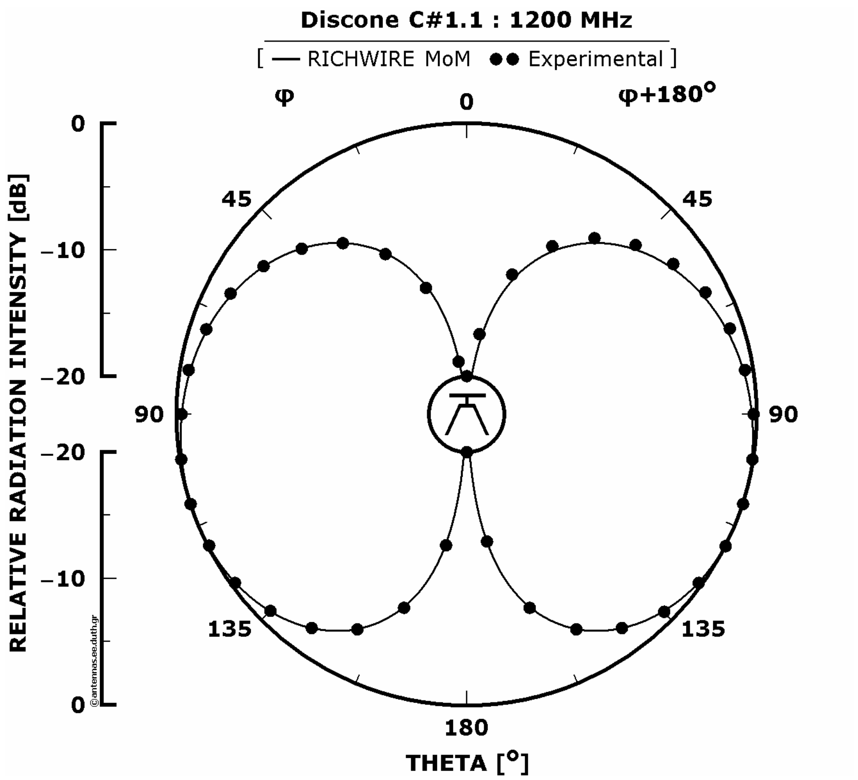
<u>Σχήμα 5.5.1.6</u>: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



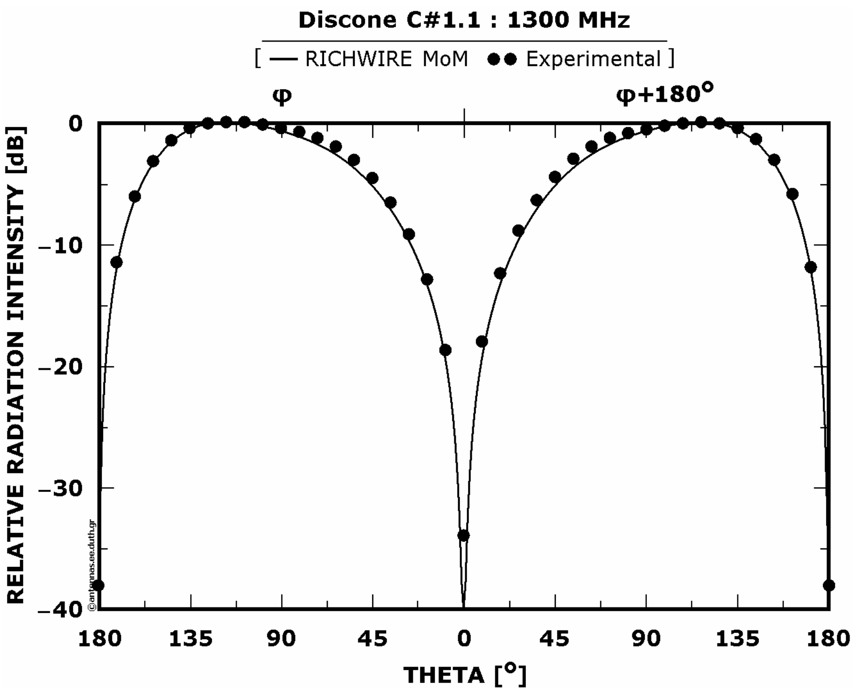


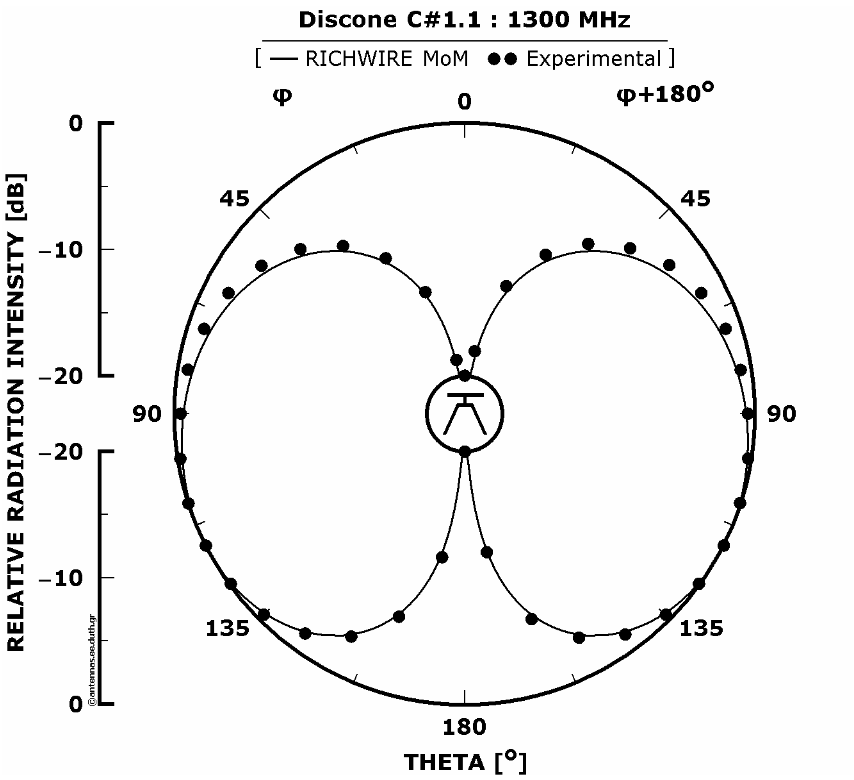
Σχήμα 5.5.1.7: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



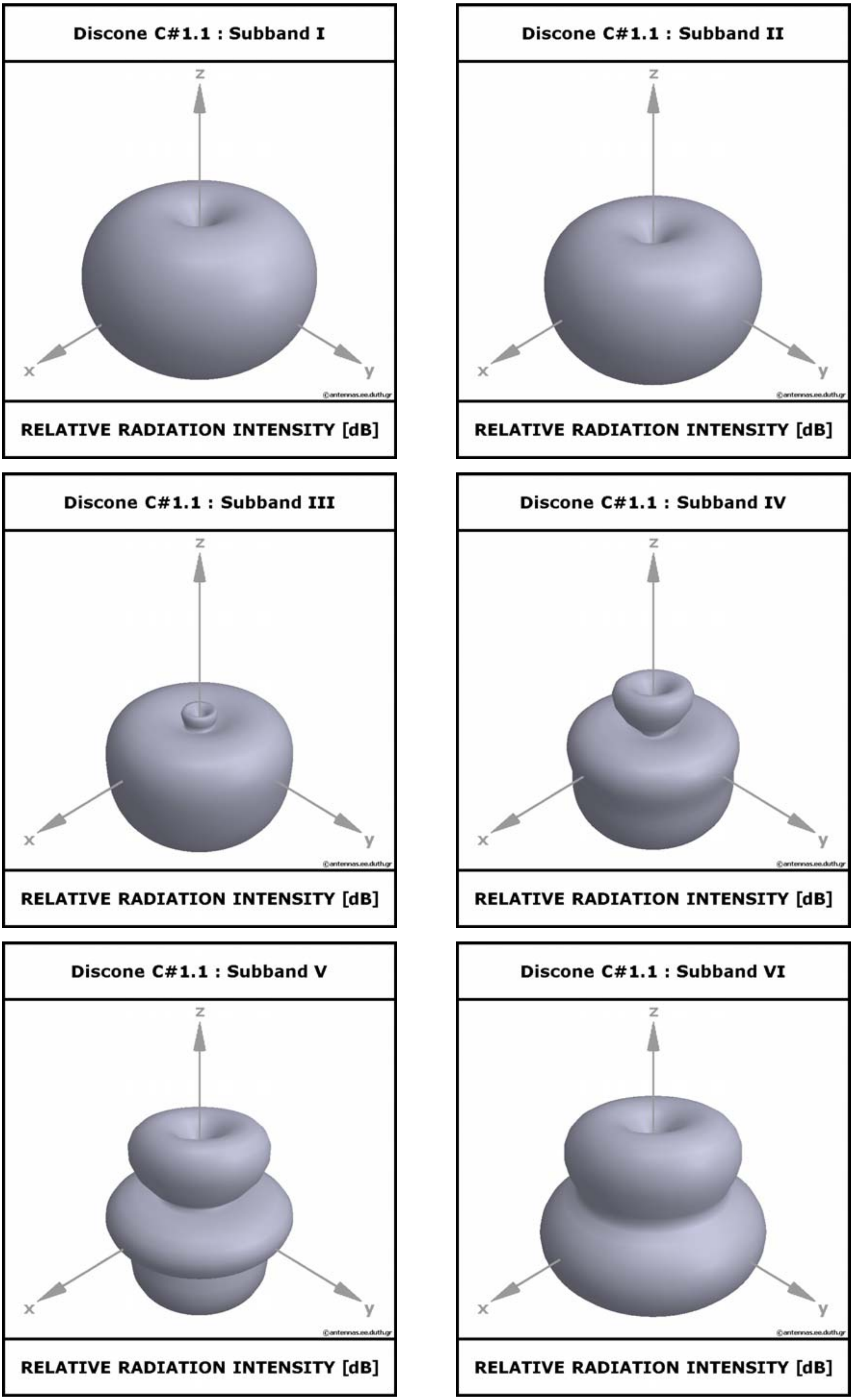


Σχήμα 5.5.1.8: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.





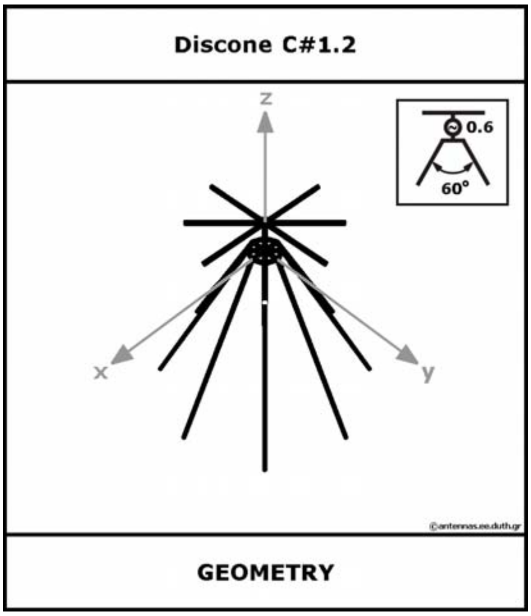
Σχήμα 5.5.1.9: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



Σχήμα 5.5.1.10: Σχετική ένταση ακτινοβολίας στην κεντρική συχνότητα κάθε υποζώνης.

5.5.2 : Discone C#1.2.

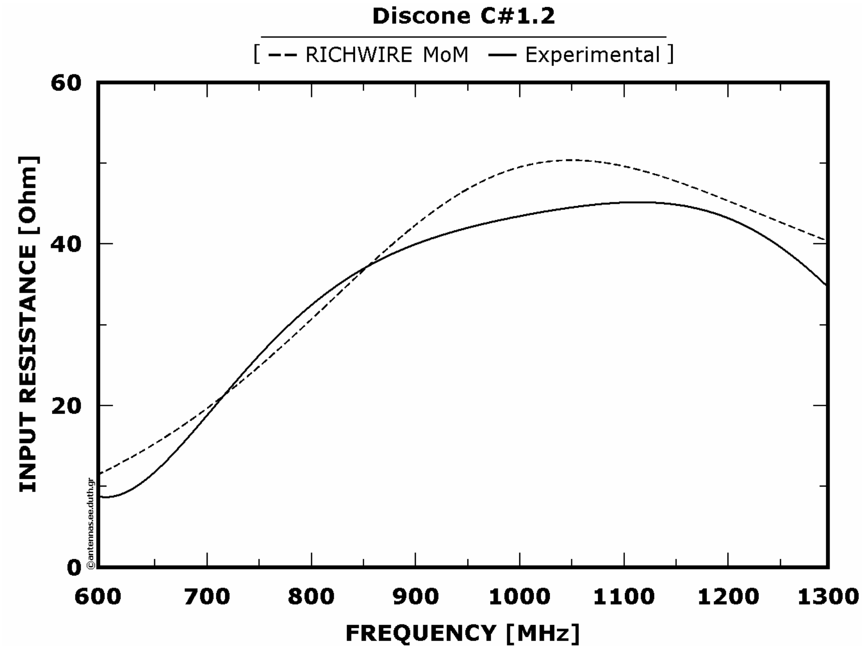
Τα χαρακτηριστικά της κεραίας δίνονται στον Πίνακα 5.5.2.1.



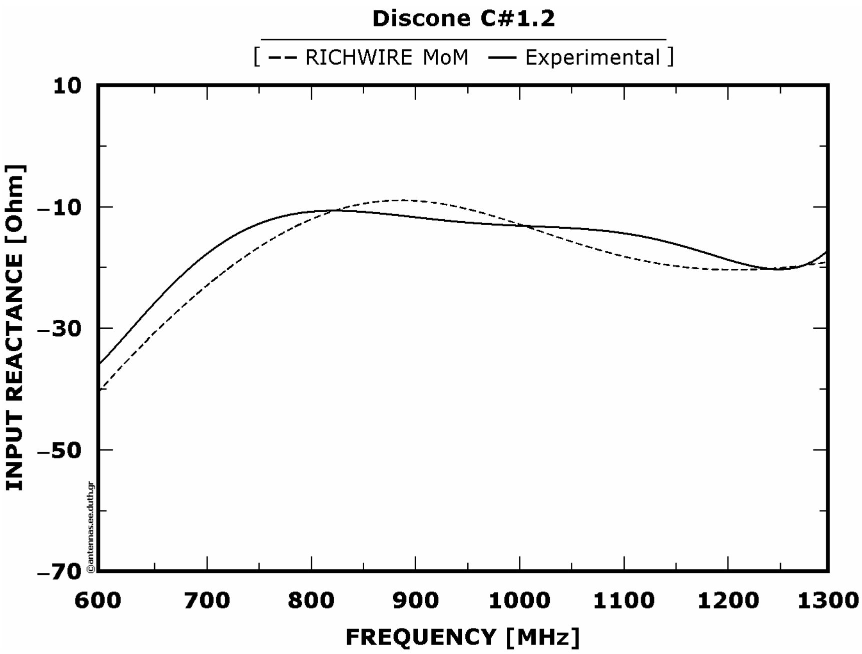
Σχήμα 5.5.2.1: Γεωμετρία της Discone C#1.2.

Πίνακας 5.5.2.1: Χαρακτηριστικά της κεραίας C#1.2.

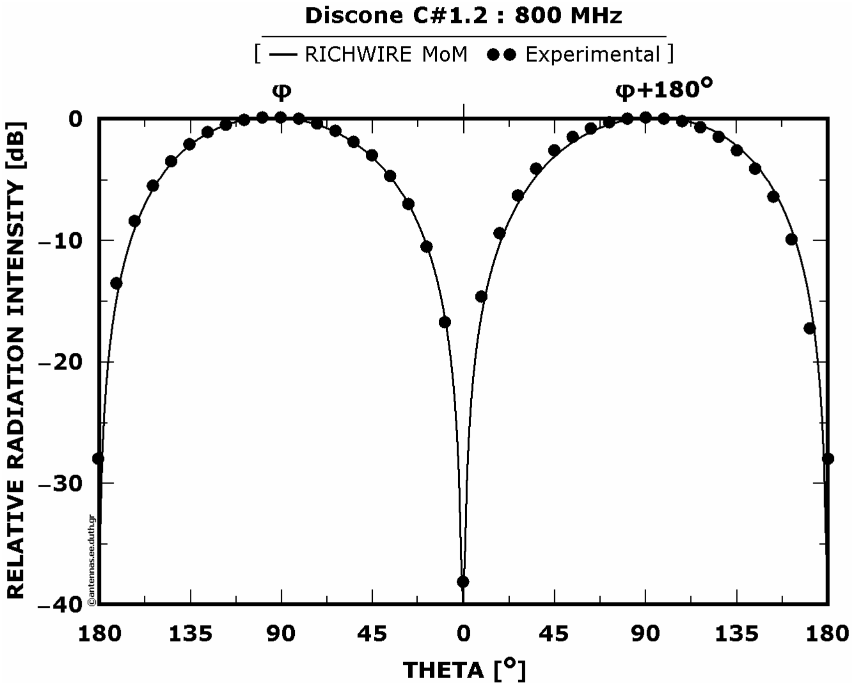
Αριθμός ακτίνων δίσκου	8
Αριθμός ακτίνων κώνου	8
Διάμετρος δίσκου D [cm]	9.4
Απόσταση δίσκου-κώνου s [cm]	0.6
Απόστημα κώνου L [cm]	12.5
Γωνία κώνου α [°]	60
Περιοχή συχνοτήτων προσομοίωσης [MHz]	[600, 2500]
Περιοχή συχνοτήτων μέτρησης [MHz]	[600, 1300]
Περιοχή συχνοτήτων με VSWR $\leq$ 2 [MHz]	[780, 2030] $\wedge$ [2170, 2500]
Κατευθυντικότητα [dBi]	[1.65, 5.17]

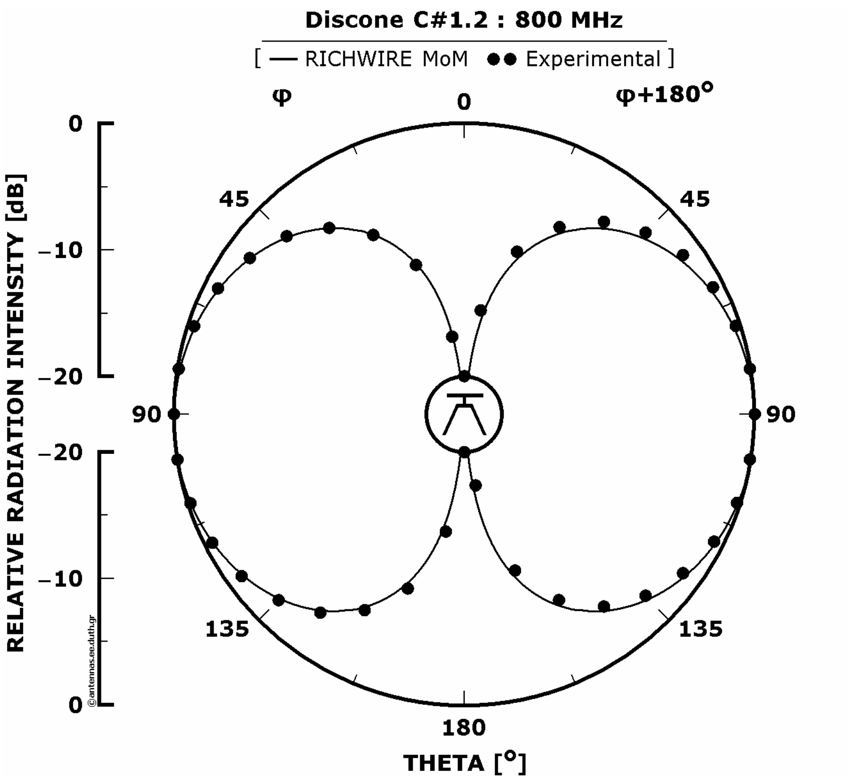


Σχήμα 5.5.2.2: Πραγματικό μέρος της σύνθετης αντίστασης εισόδου.

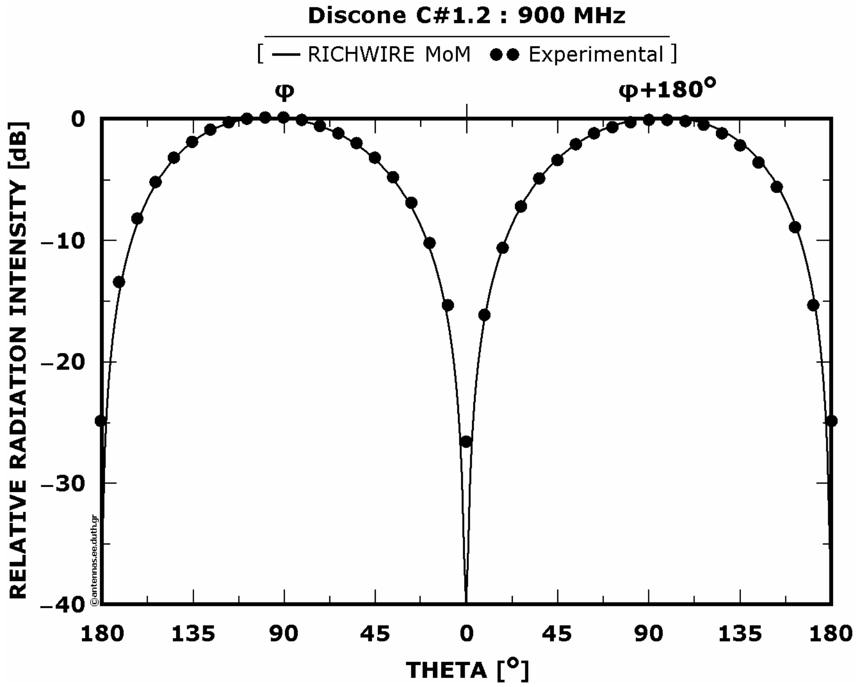


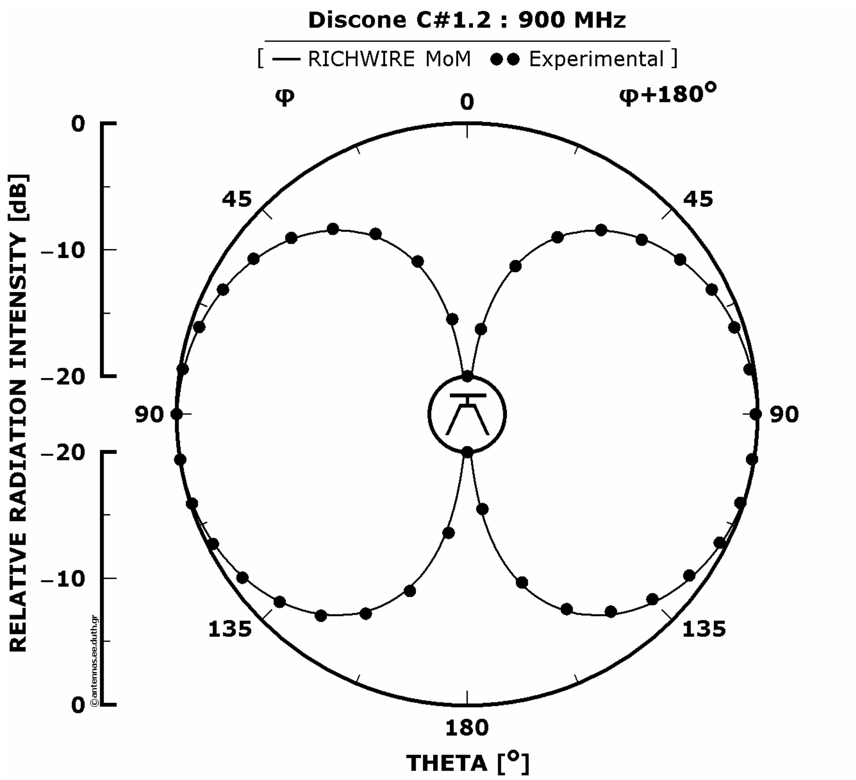
Σχήμα 5.5.2.3: Φανταστικό μέρος της σύνθετης αντίστασης εισόδου.



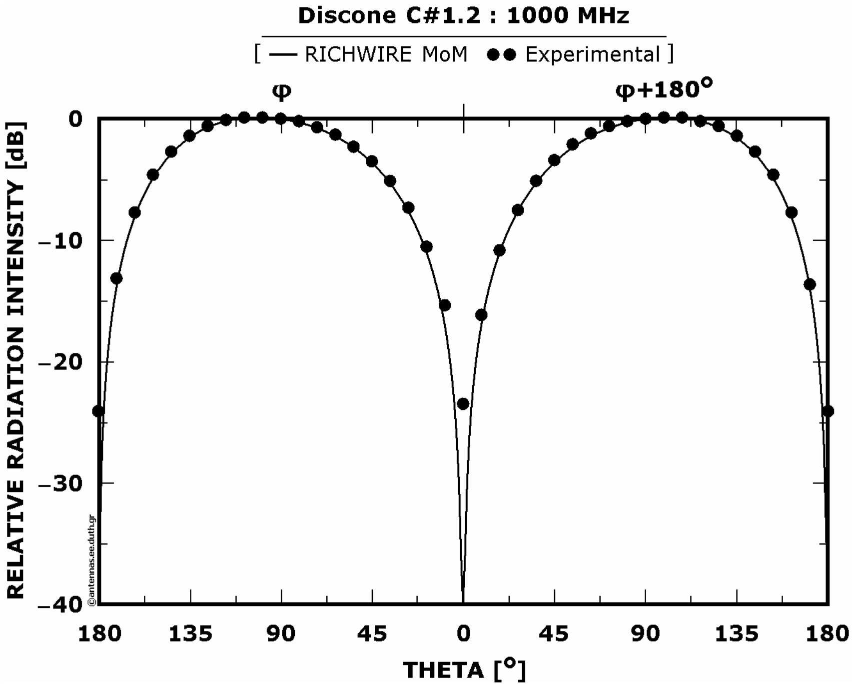


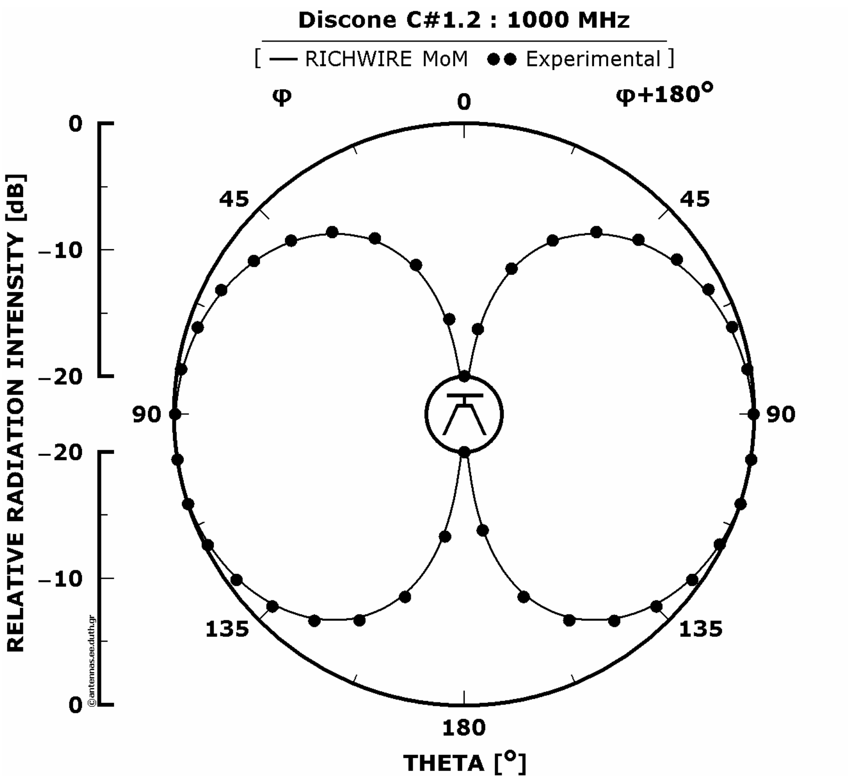
Σχήμα 5.5.2.4: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



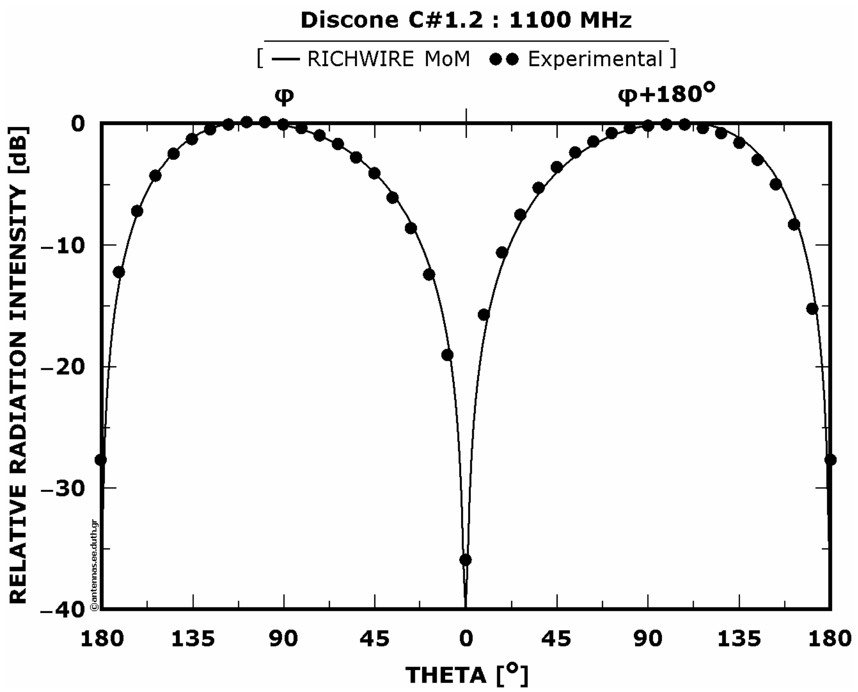


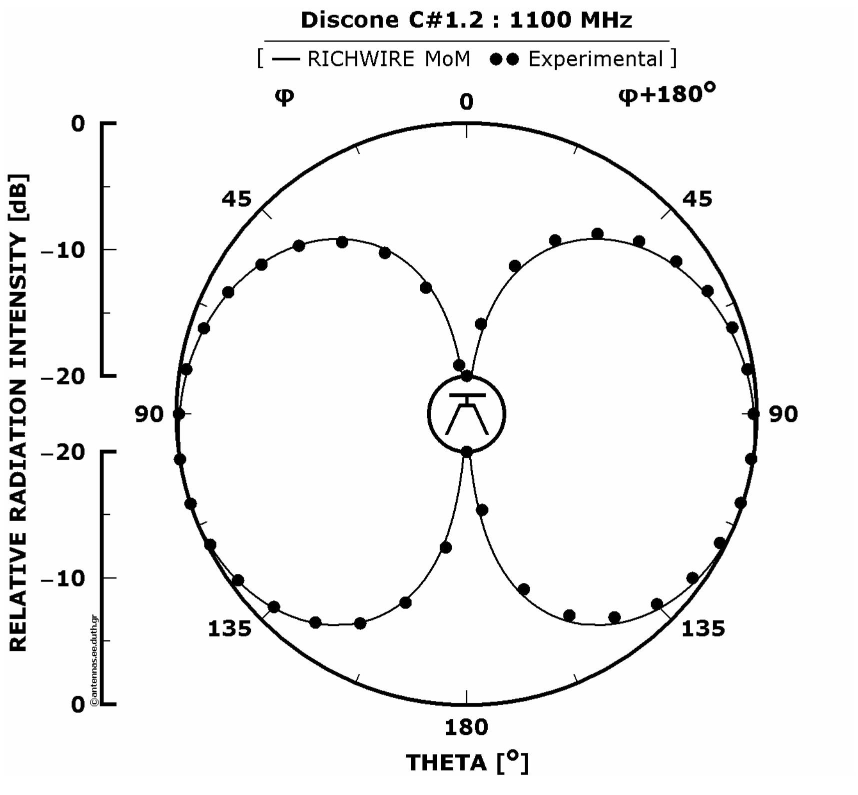
Σχήμα 5.5.2.5: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



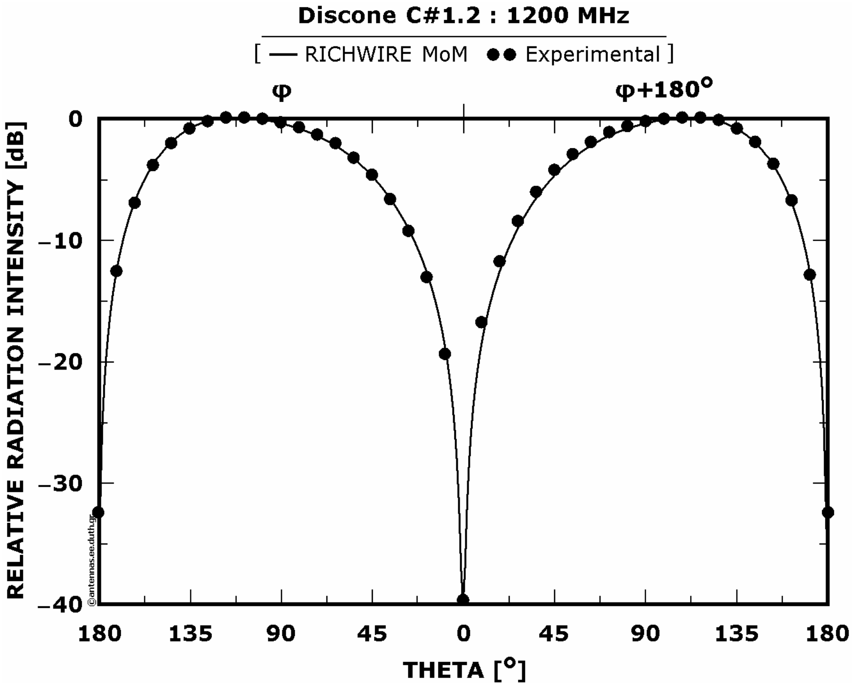


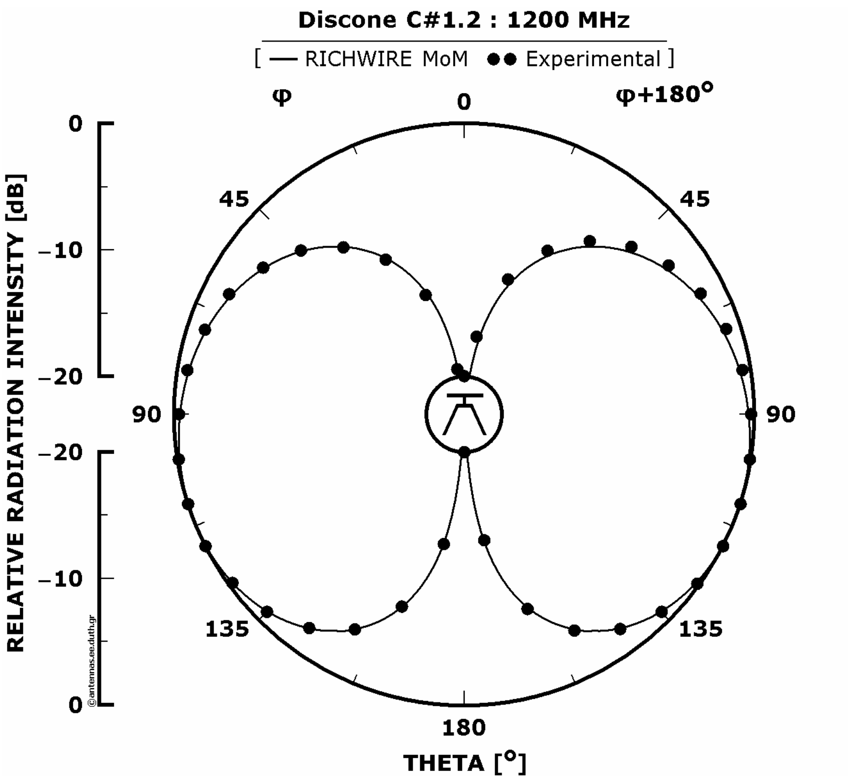
Σχήμα 5.5.2.6: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



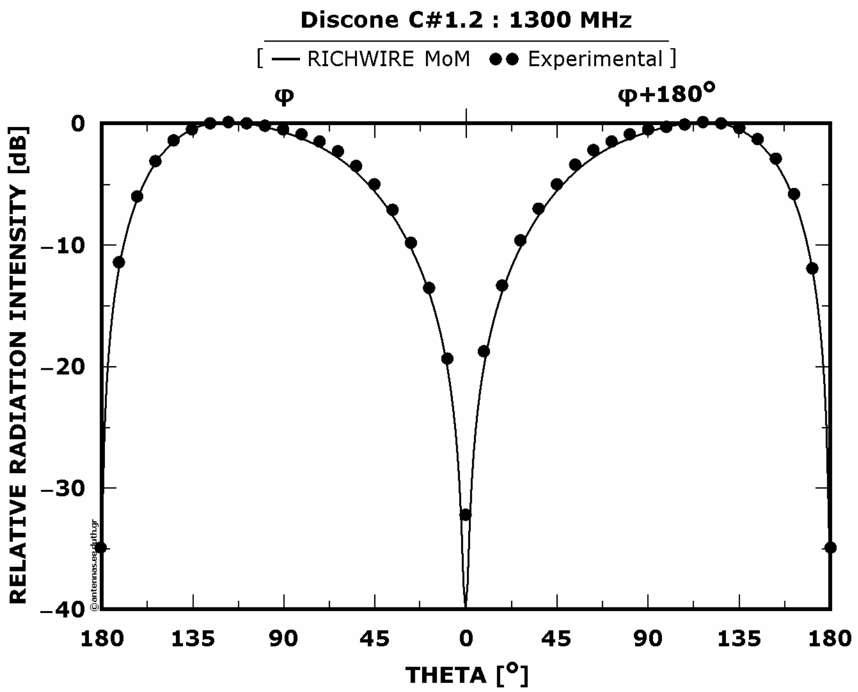


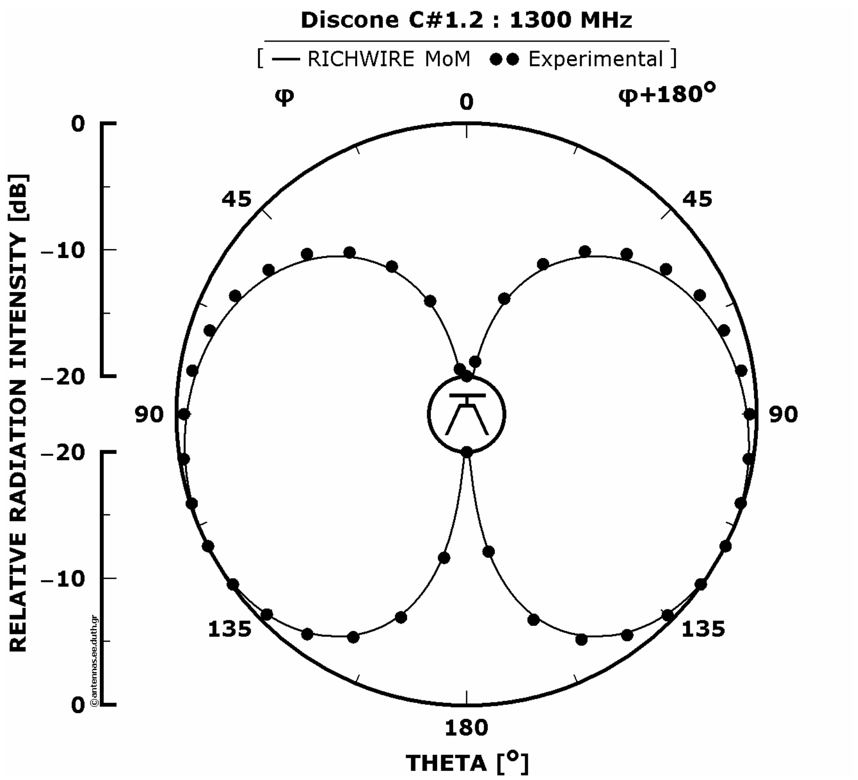
Σχήμα 5.5.2.7: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



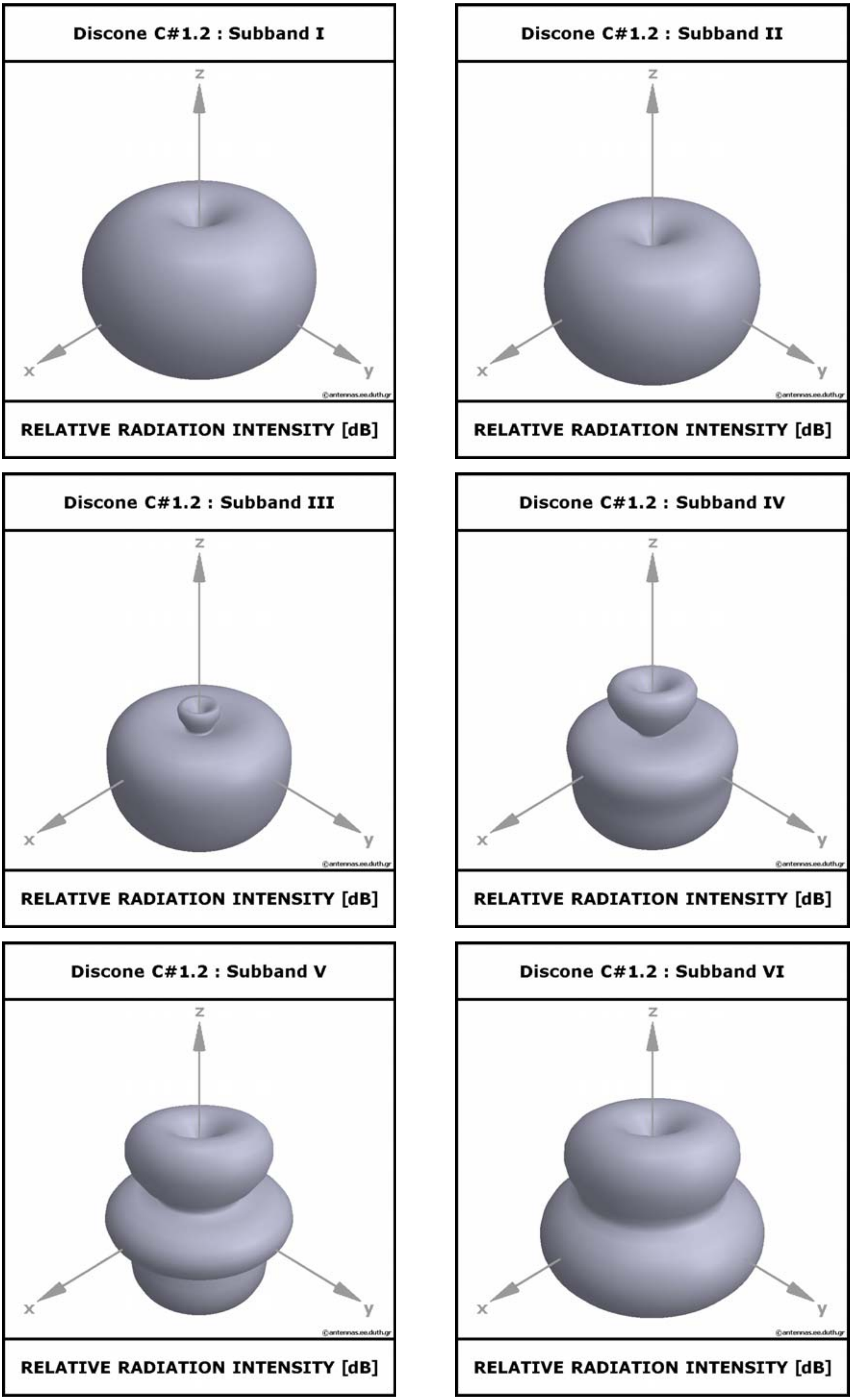


<u>Σχήμα 5.5.2.8</u>: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.





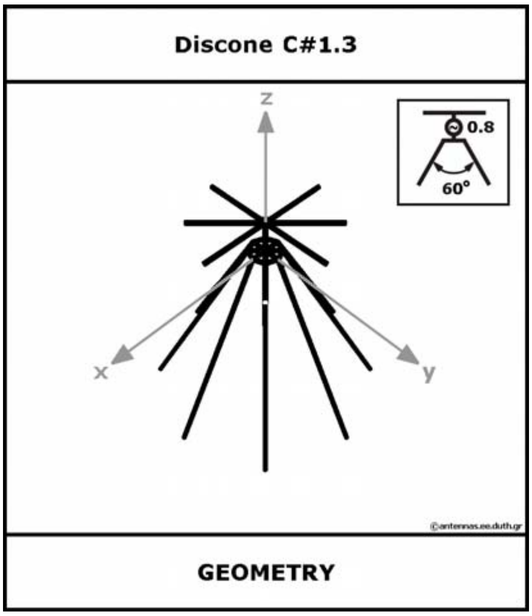
Σχήμα 5.5.2.9: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



Σχήμα 5.5.2.10: Σχετική ένταση ακτινοβολίας στην κεντρική συχνότητα κάθε υποζώνης.

5.5.3 : Discone C#1.3.

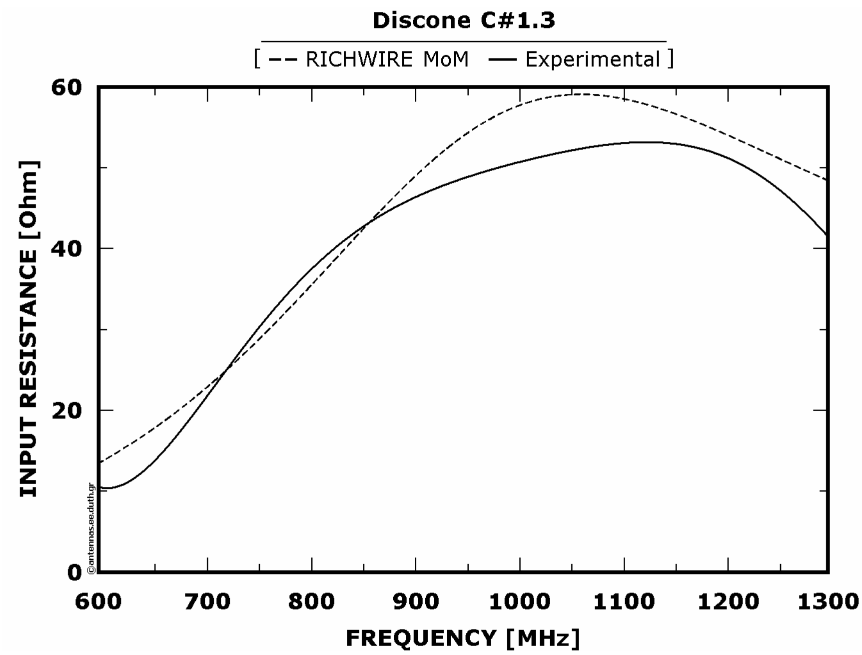
Τα χαρακτηριστικά της κεραίας δίνονται στον Πίνακα 5.5.3.1.



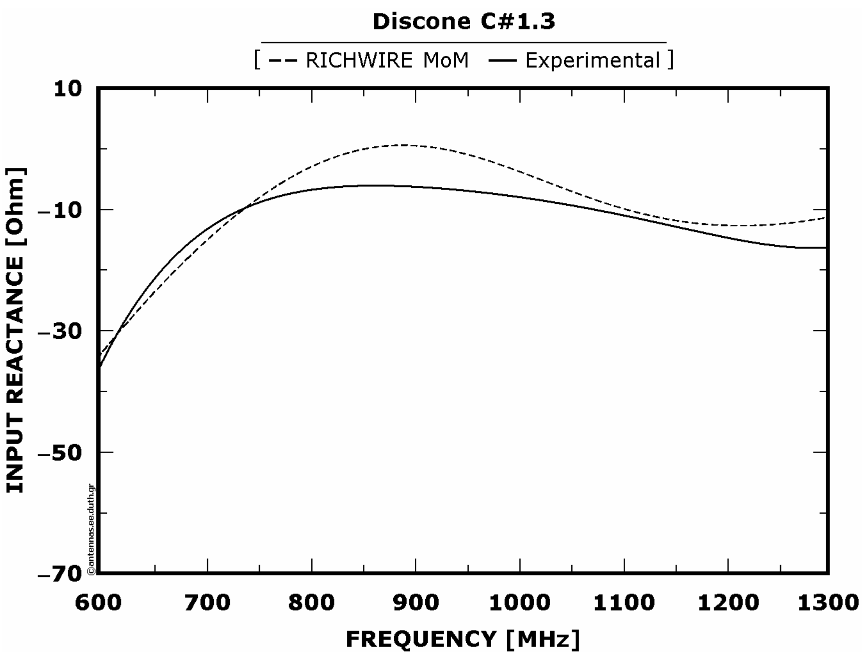
Σχήμα 5.5.3.1: Γεωμετρία της Discone C#1.3.

Πίνακας 5.5.3.1: Χαρακτηριστικά της κεραίας C#1.3.

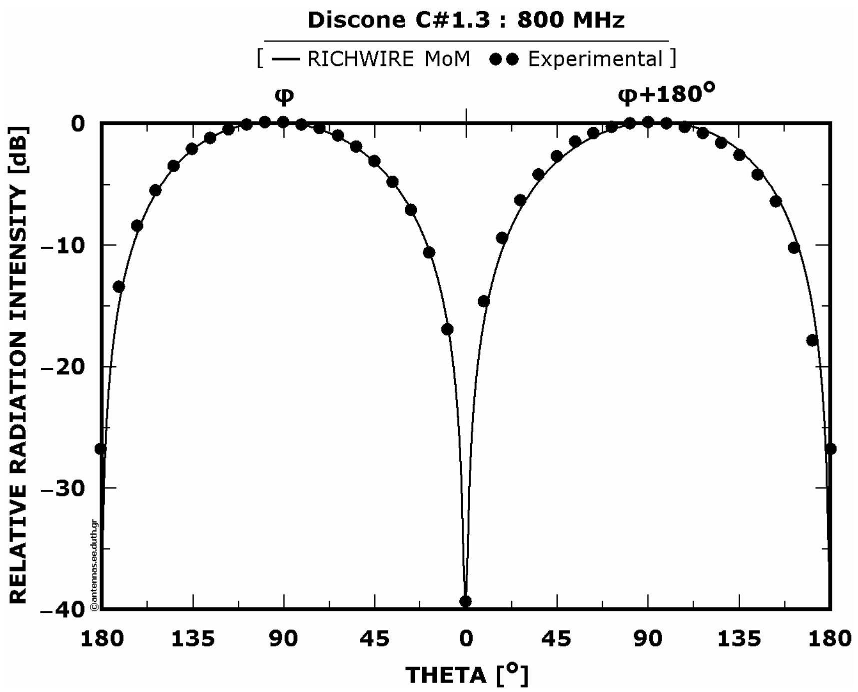
Αριθμός ακτίνων δίσκου	8
Αριθμός ακτίνων κώνου	8
Διάμετρος δίσκου D [cm]	9.4
Απόσταση δίσκου-κώνου s [cm]	0.8
Απόστημα κώνου L [cm]	12.5
Γωνία κώνου α [°]	60
Περιοχή συχνοτήτων προσομοίωσης [MHz]	[600, 2500]
Περιοχή συχνοτήτων μέτρησης [MHz]	[600, 1300]
Περιοχή συχνοτήτων με VSWR ≤ 2 [MHz]	[730, 1830] ∧ [2280, 2500]
Κατευθυντικότητα [dBi]	[1.67, 5.13]

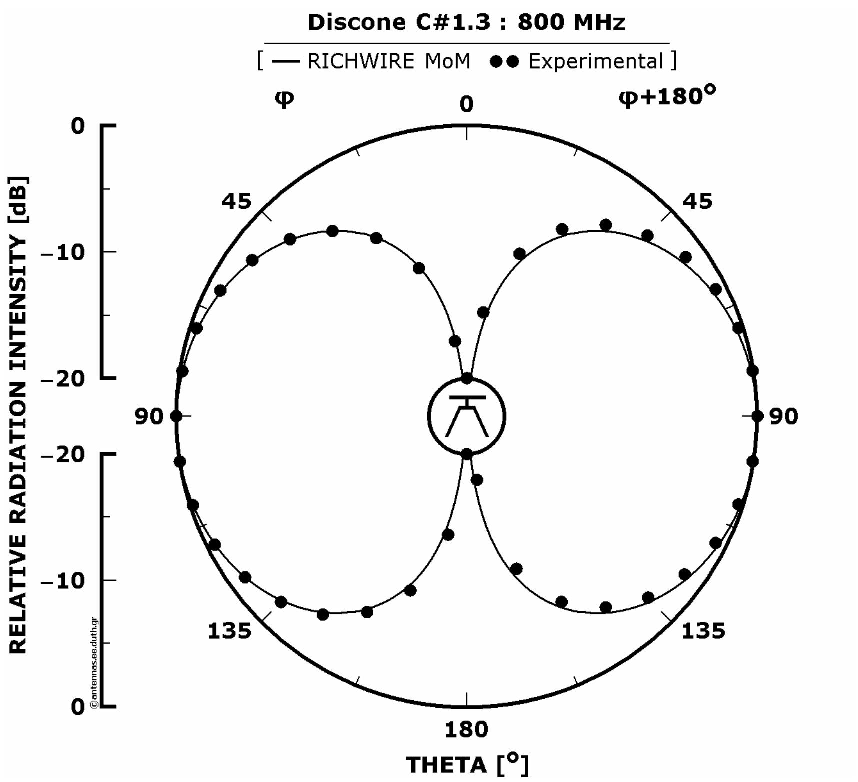


Σχήμα 5.5.3.2: Πραγματικό μέρος της σύνθετης αντίστασης εισόδου.

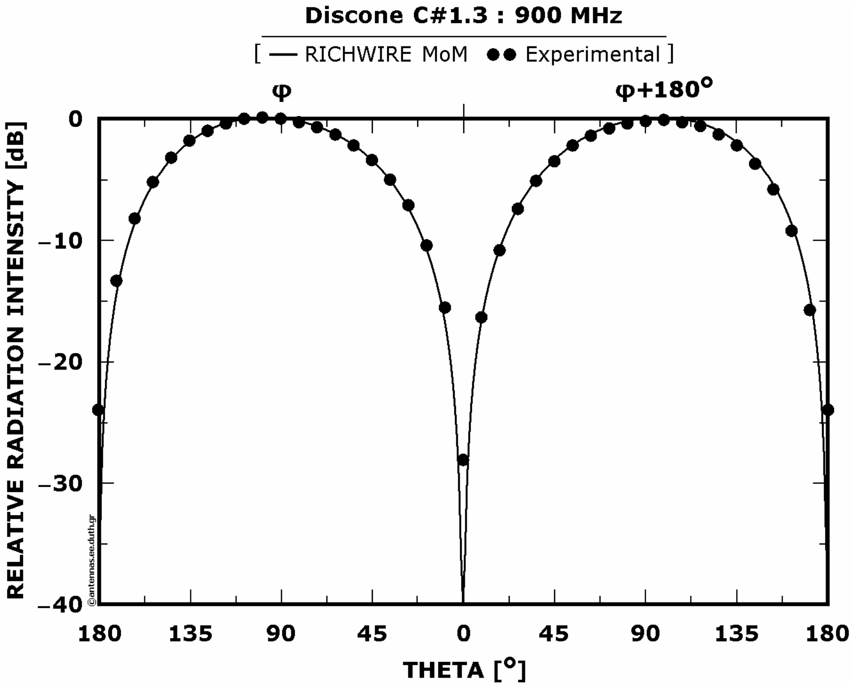


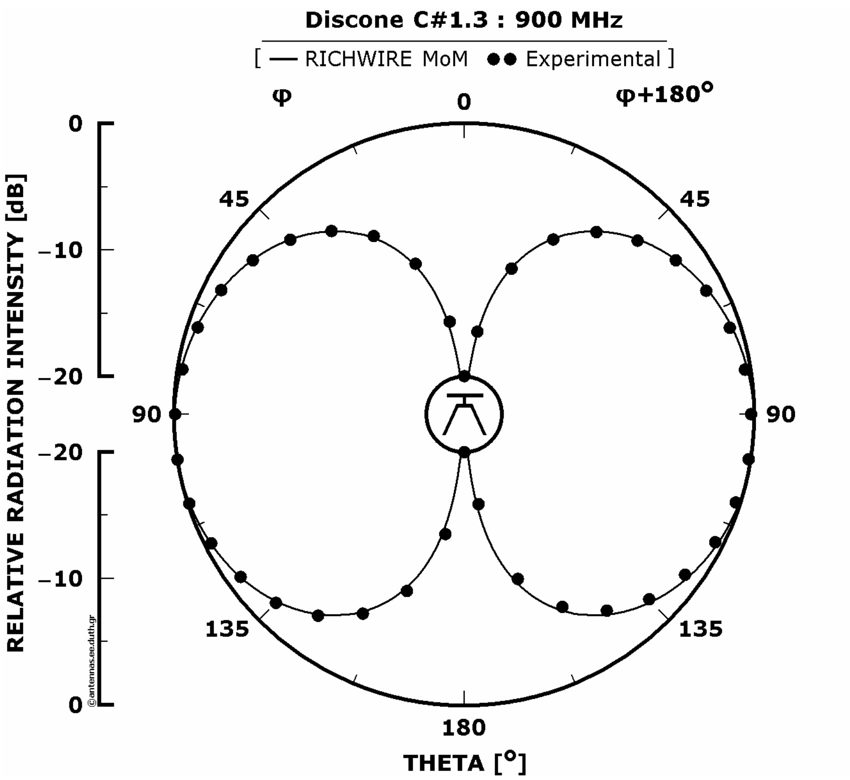
Σχήμα 5.5.3.3: Φανταστικό μέρος της σύνθετης αντίστασης εισόδου.



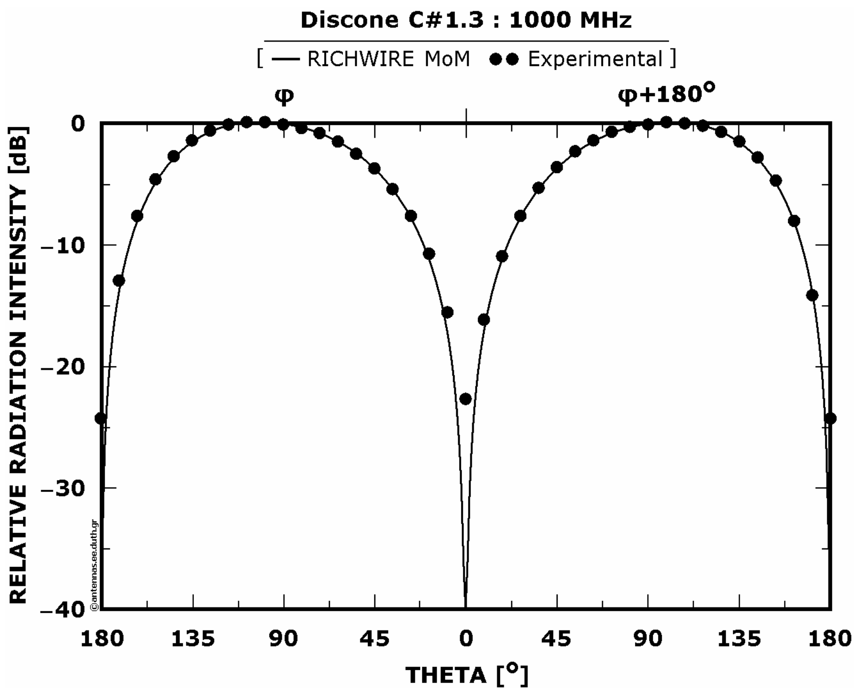


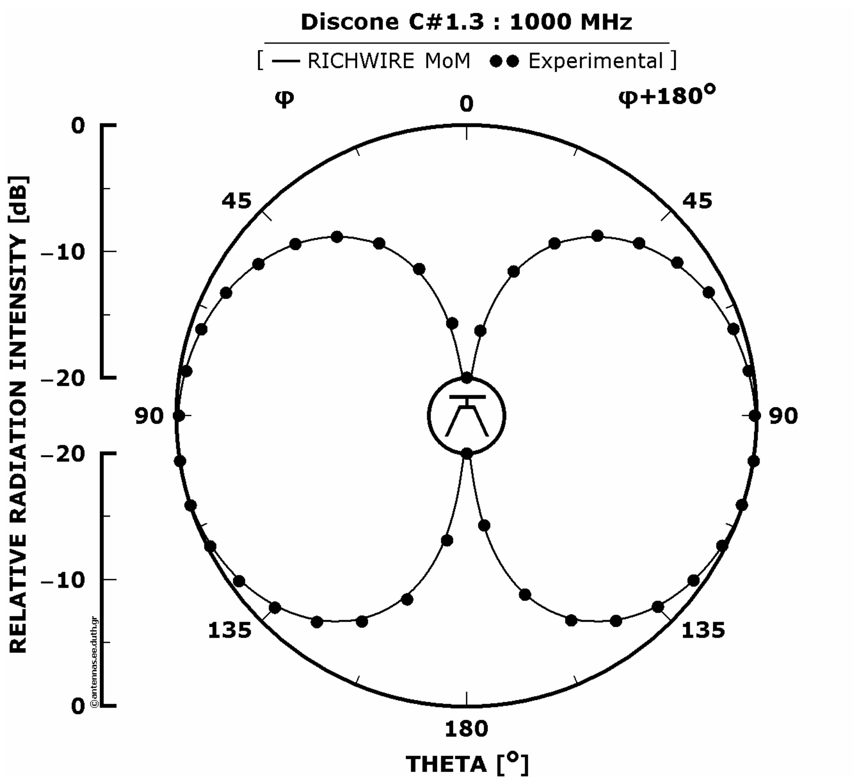
Σχήμα 5.5.3.4: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



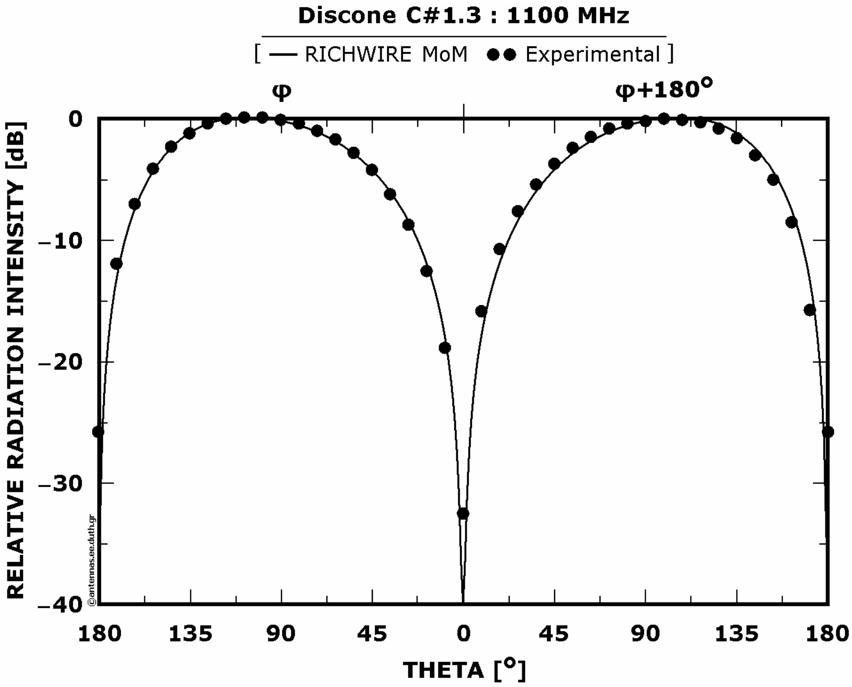


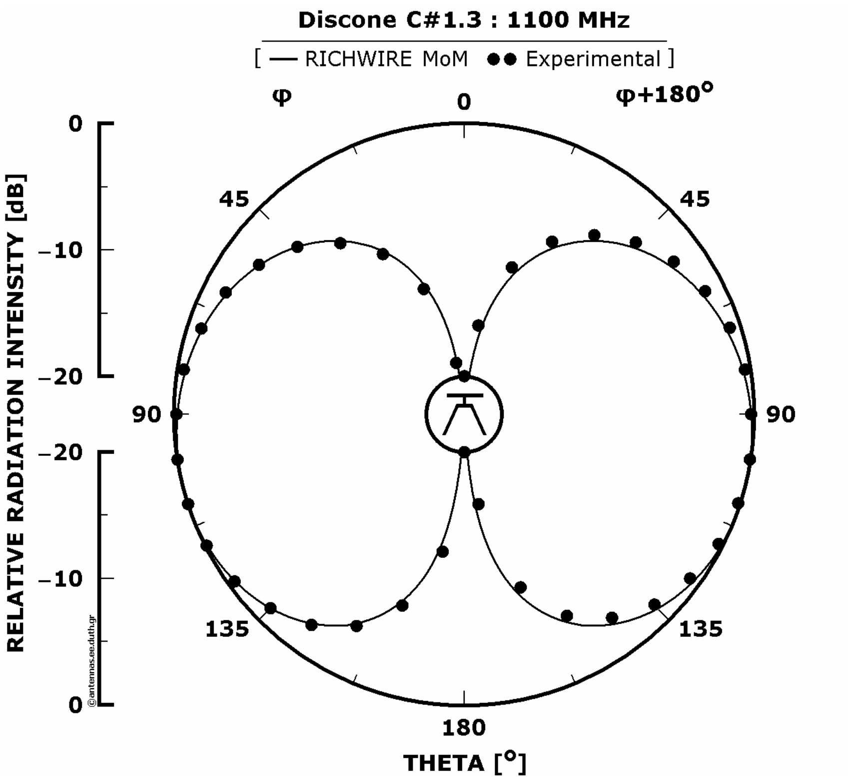
Σχήμα 5.5.3.5: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



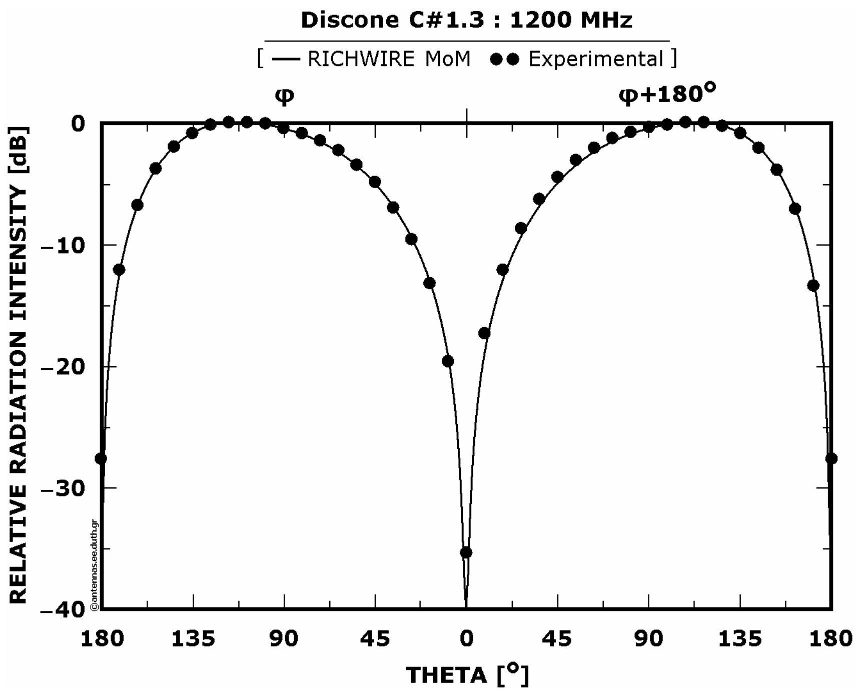


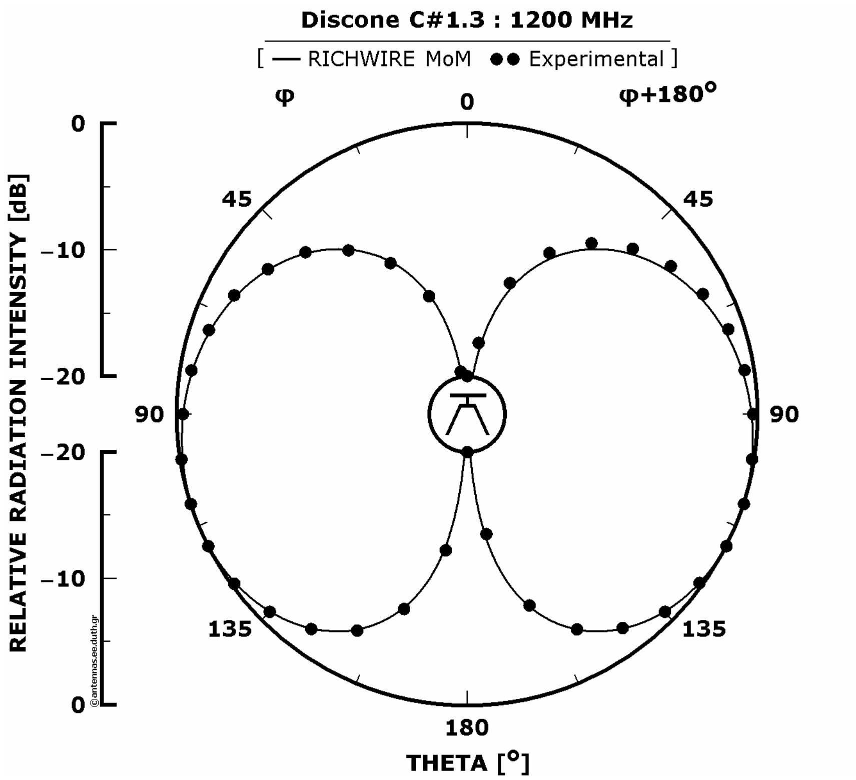
Σχήμα 5.5.3.6: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



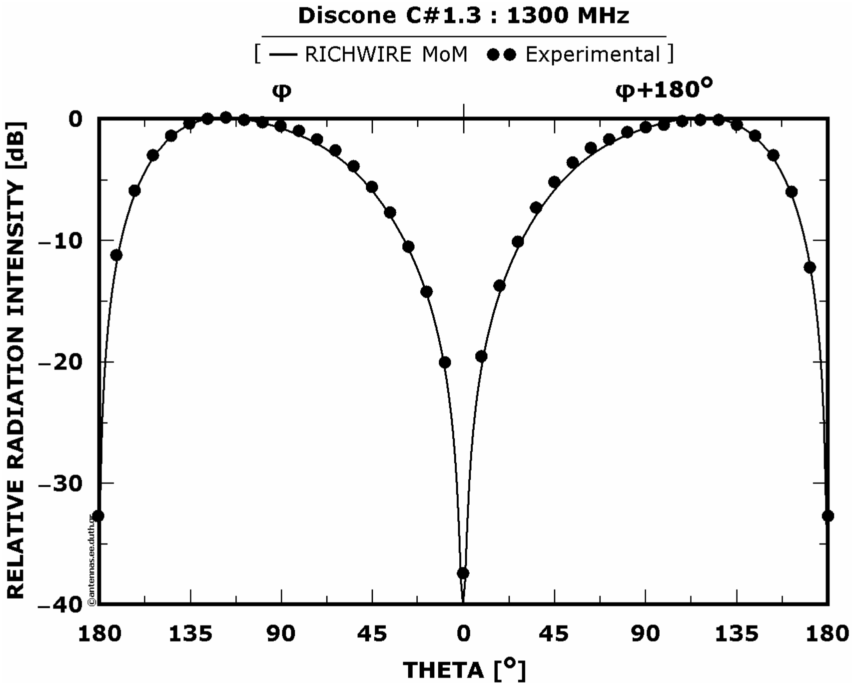


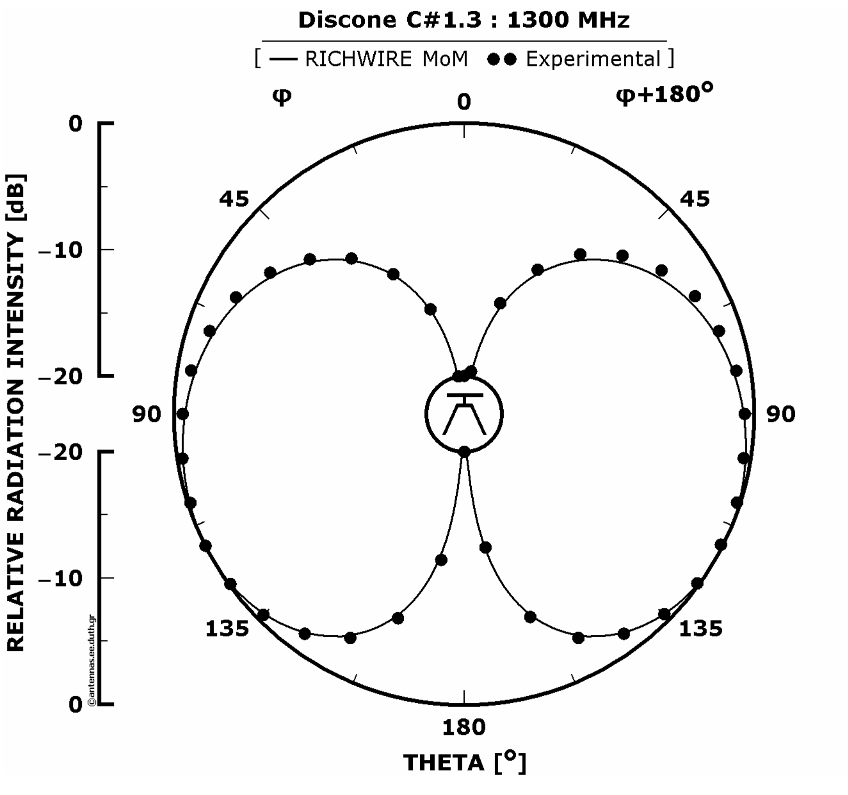
<u>Σχήμα 5.5.3.7</u>: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



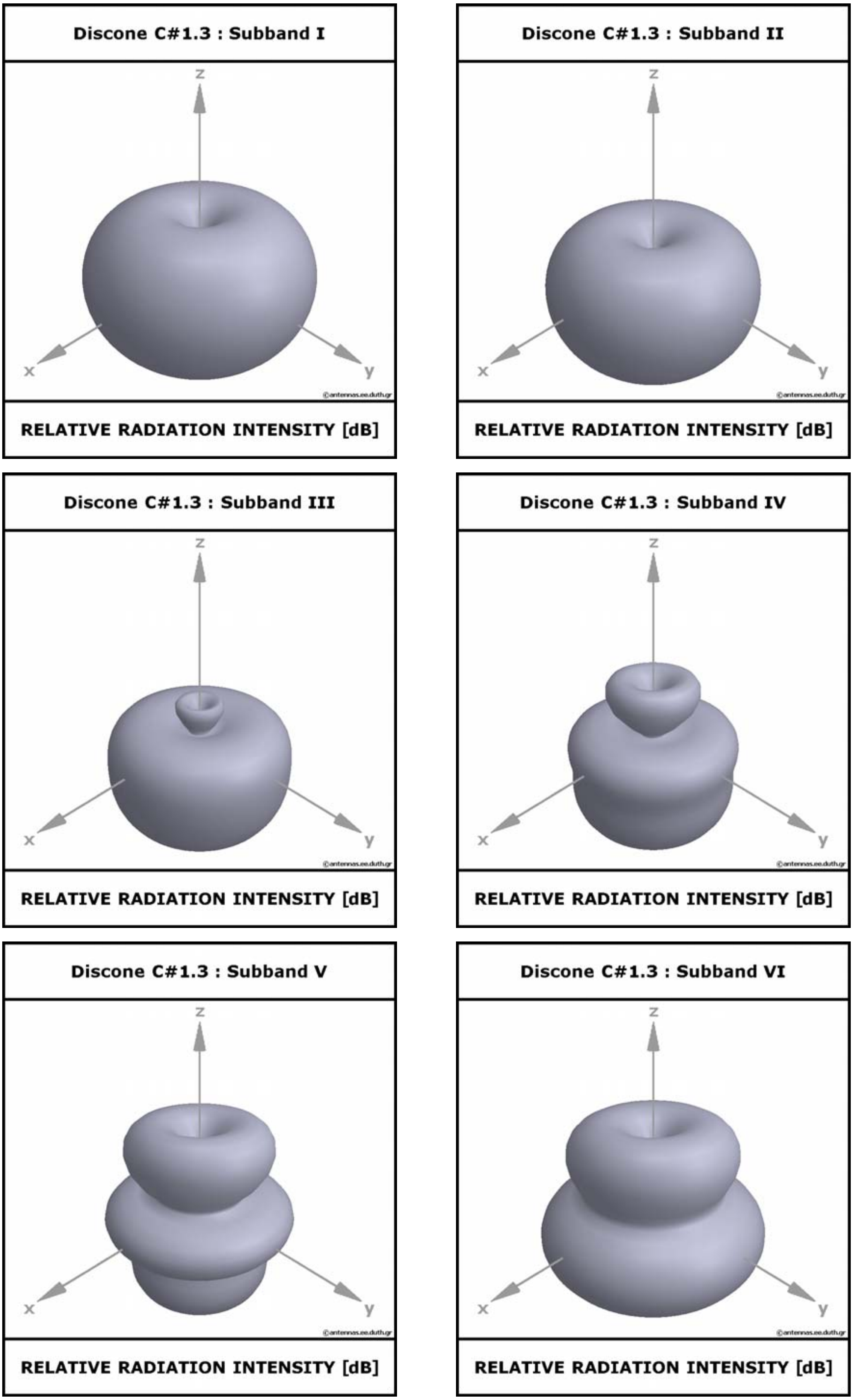


Σχήμα 5.5.3.8: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.





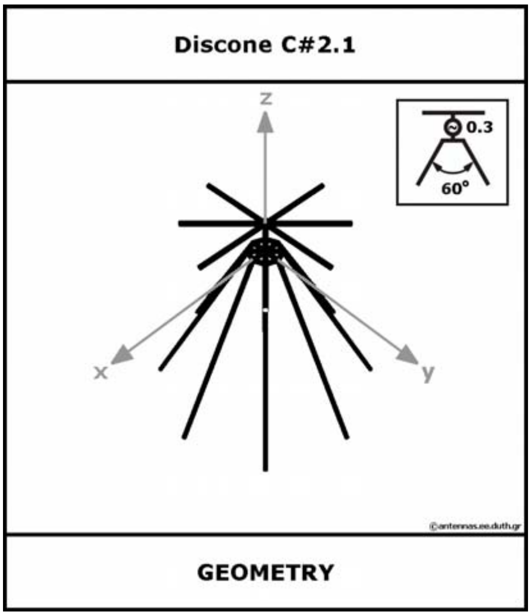
Σχήμα 5.5.3.9: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



<u>Σχήμα 5.5.3.10</u>: Σχετική ένταση ακτινοβολίας στην κεντρική συχνότητα κάθε υποζώνης.

5.5.4 : Discone C#2.1.

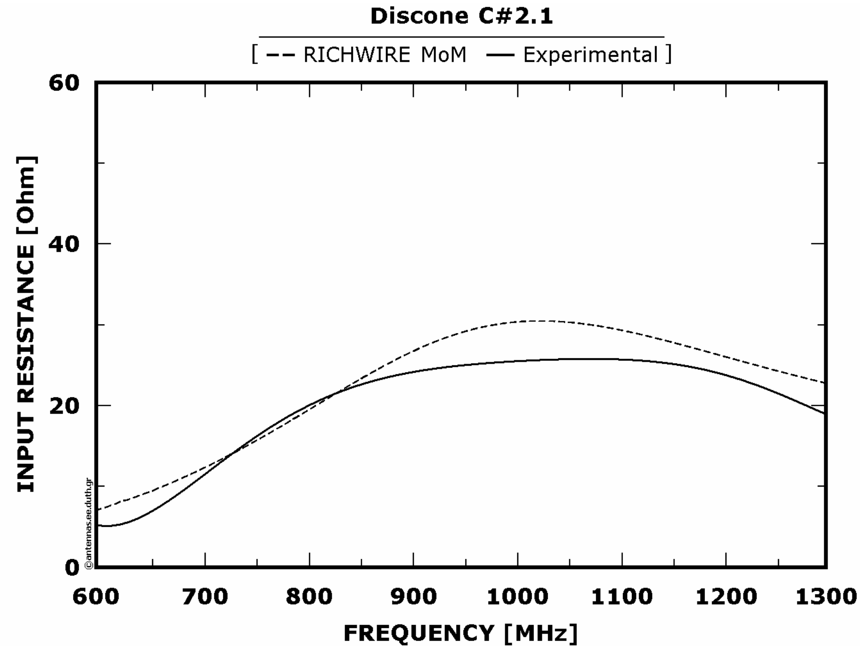
Τα χαρακτηριστικά της κεραίας δίνονται στον Πίνακα 5.5.4.1.



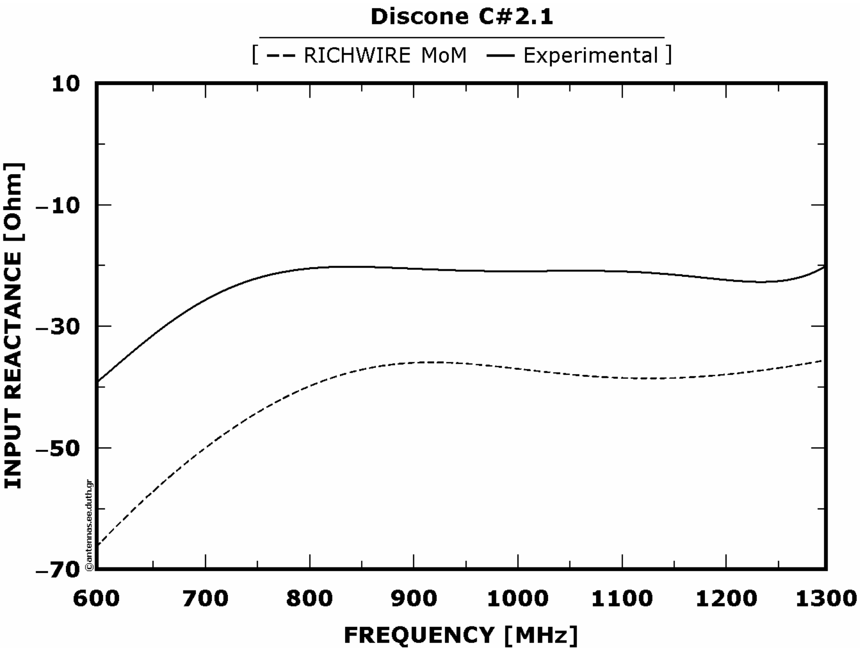
Σχήμα 5.5.4.1: Γεωμετρία της Discone C#2.1.

Πίνακας 5.5.4.1: Χαρακτηριστικά της κεραίας C#2.1.

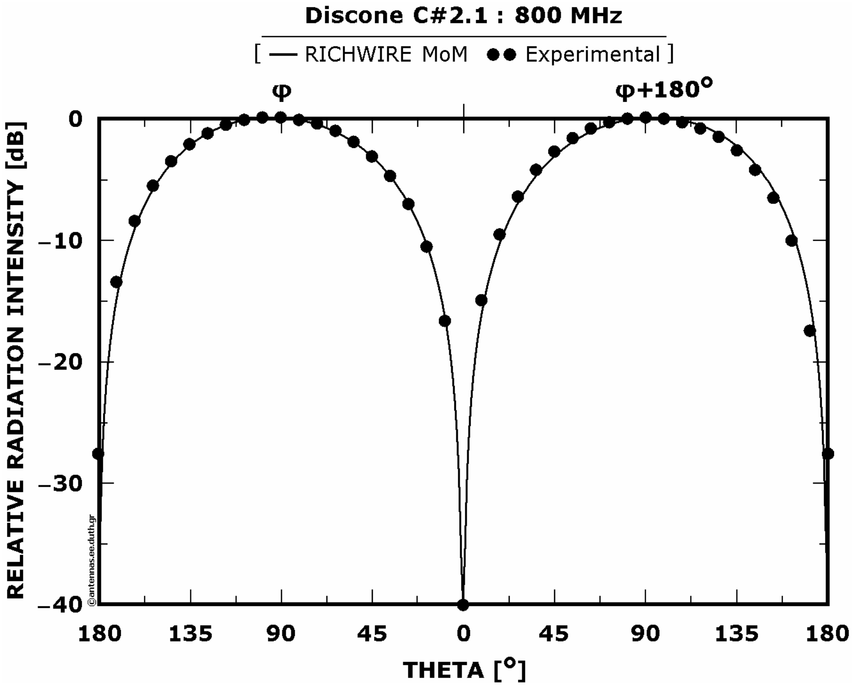
Αριθμός ακτίνων δίσκου	8
Αριθμός ακτίνων κώνου	8
Διάμετρος δίσκου D [cm]	8.8
Απόσταση δίσκου-κώνου s [cm]	0.3
Απόστημα κώνου L [cm]	12.5
Γωνία κώνου α [°]	60
Περιοχή συχνοτήτων προσομοίωσης [MHz]	[600, 2500]
Περιοχή συχνοτήτων μέτρησης [MHz]	[600, 1300]
Περιοχή συχνοτήτων με VSWR ≤ 2 [MHz]	[1980, 2230]
Κατευθυντικότητα [dBi]	[1.65, 5.15]

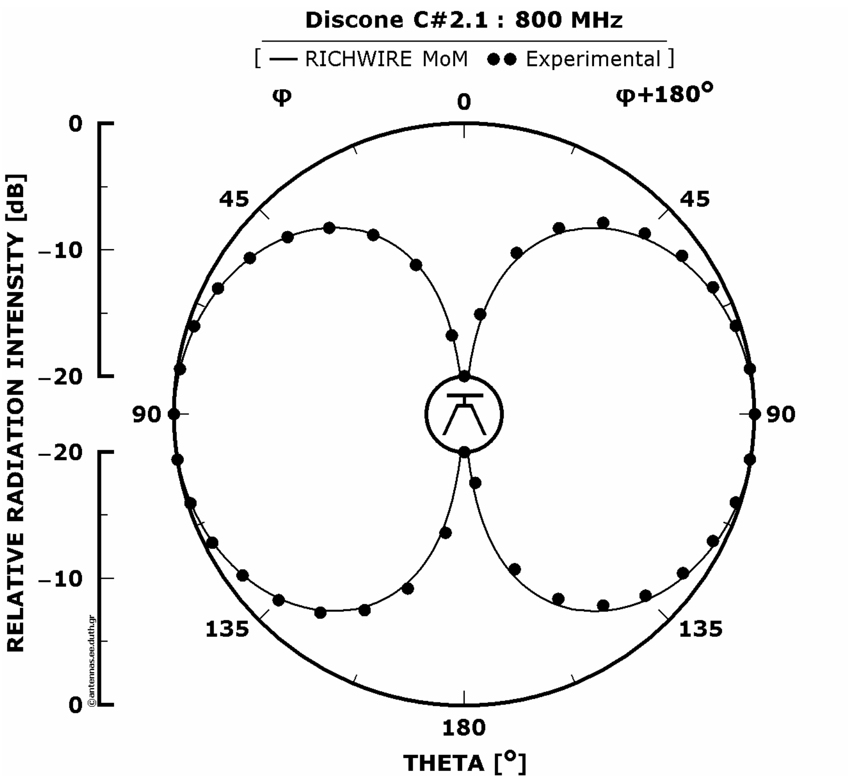


<u>Σχήμα 5.5.4.2</u>: Πραγματικό μέρος της σύνθετης αντίστασης εισόδου.

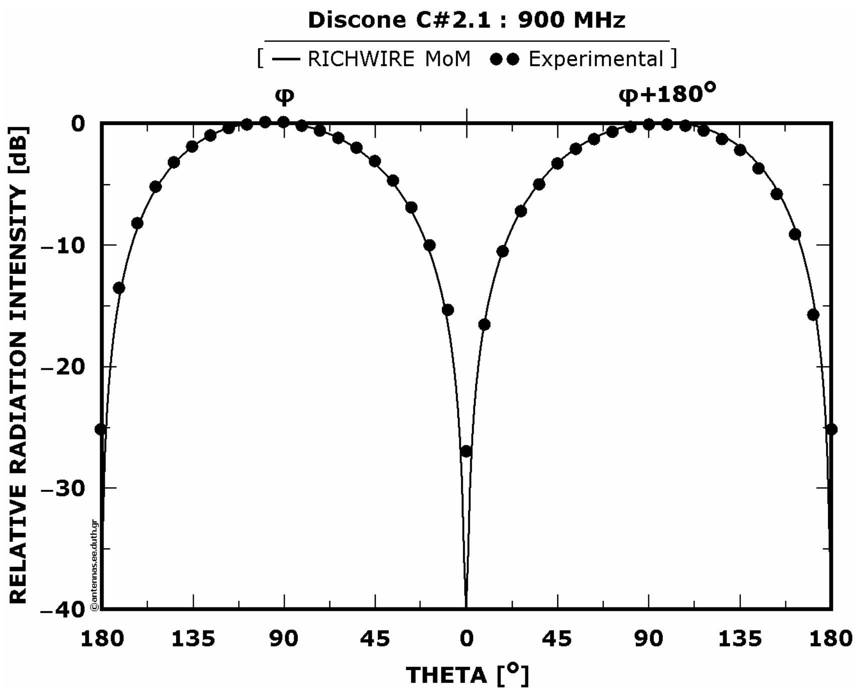


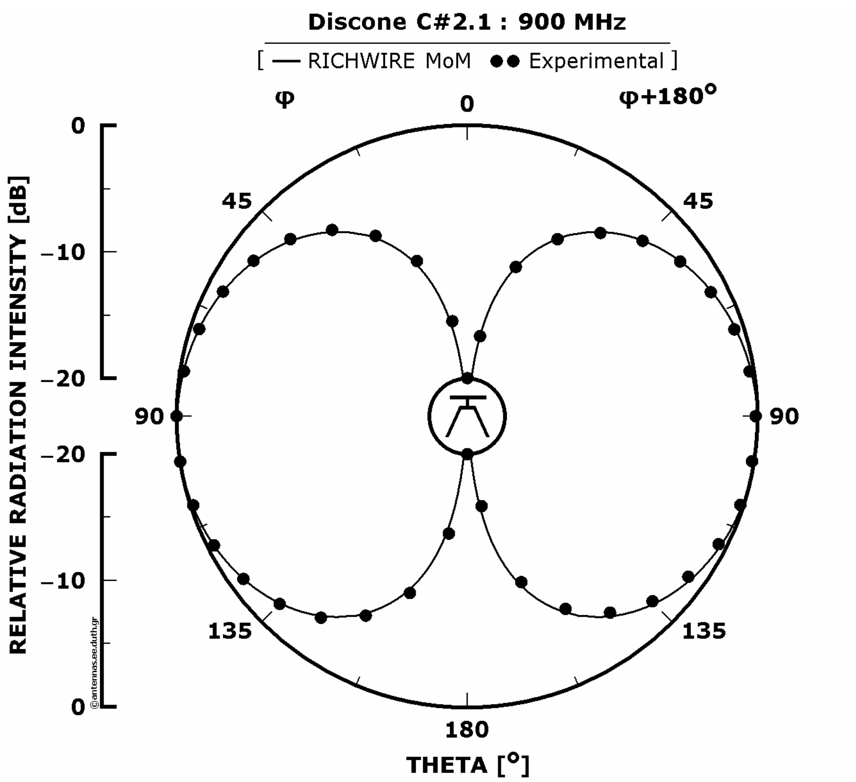
<u>Σχήμα 5.5.4.3</u>: Φανταστικό μέρος της σύνθετης αντίστασης εισόδου.



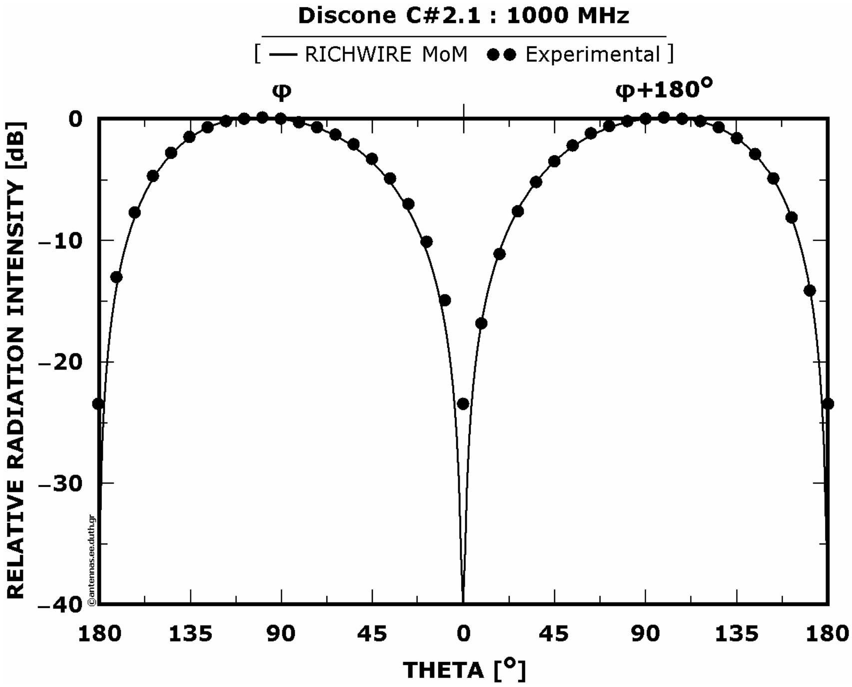


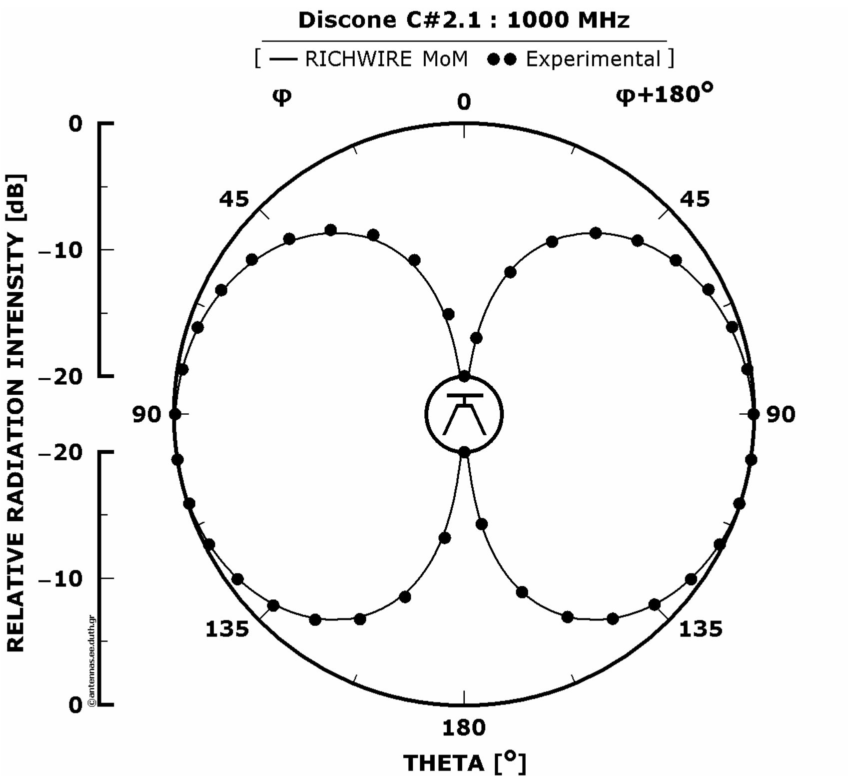
<u>Σχήμα 5.5.4.4</u>: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



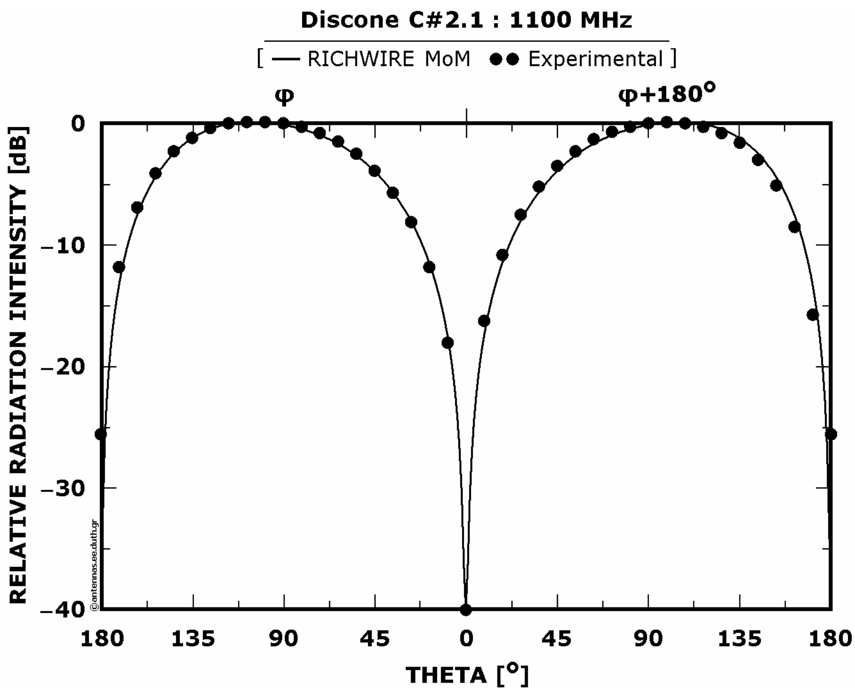


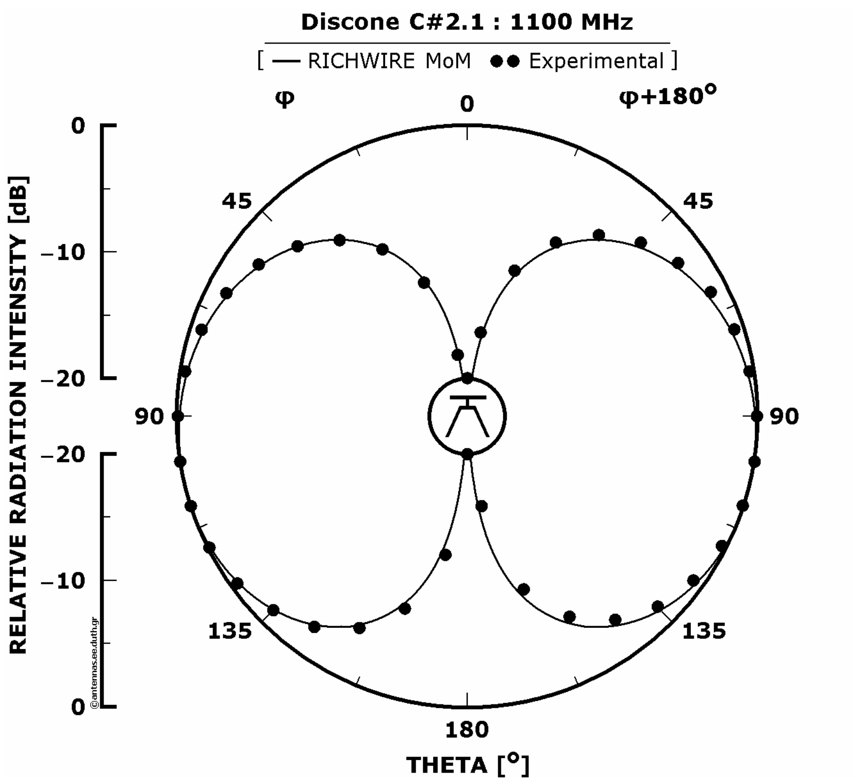
Σχήμα 5.5.4.5: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



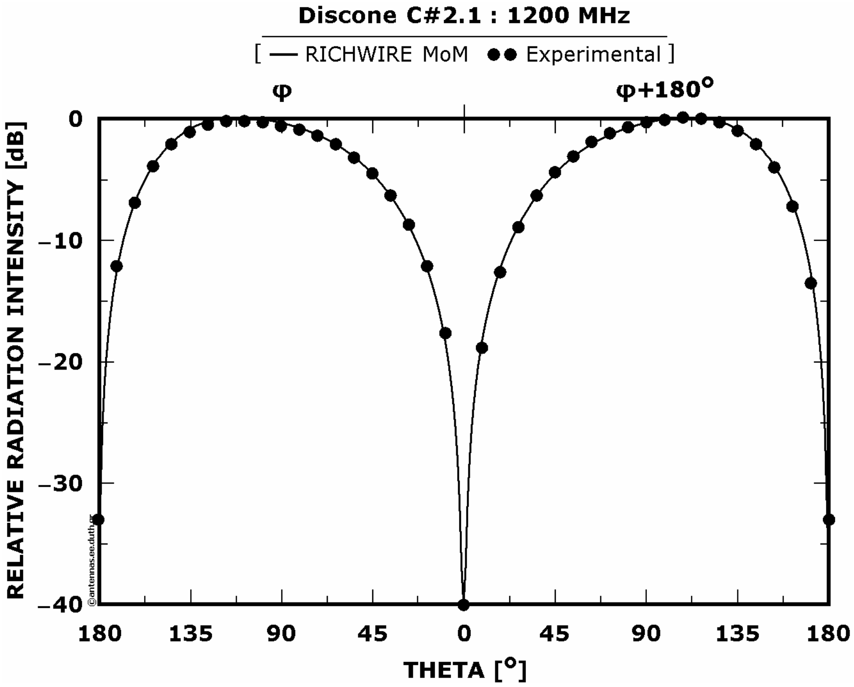


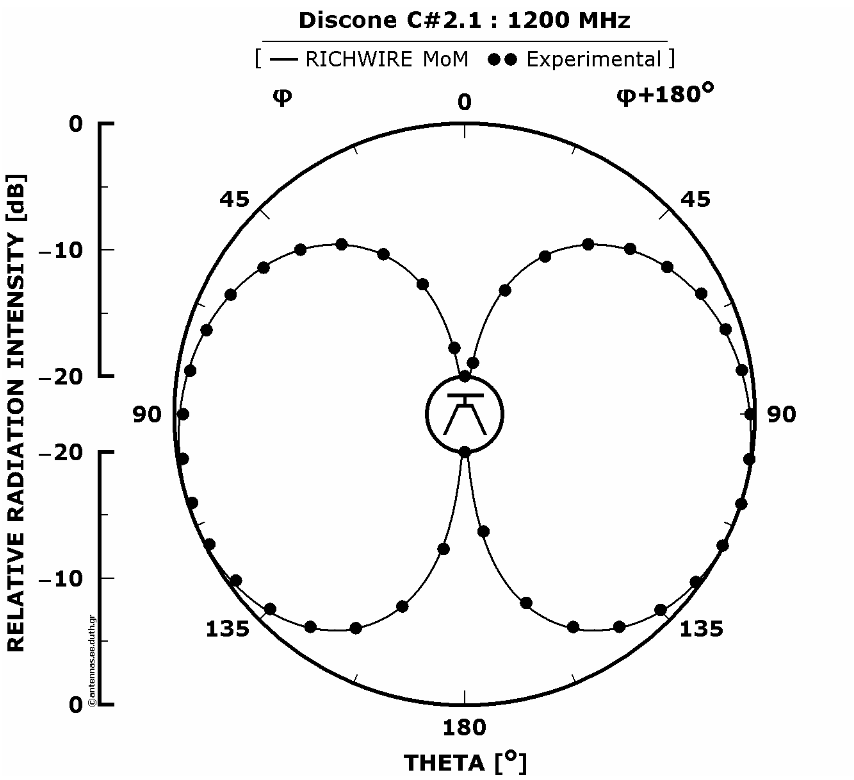
Σχήμα 5.5.4.6: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



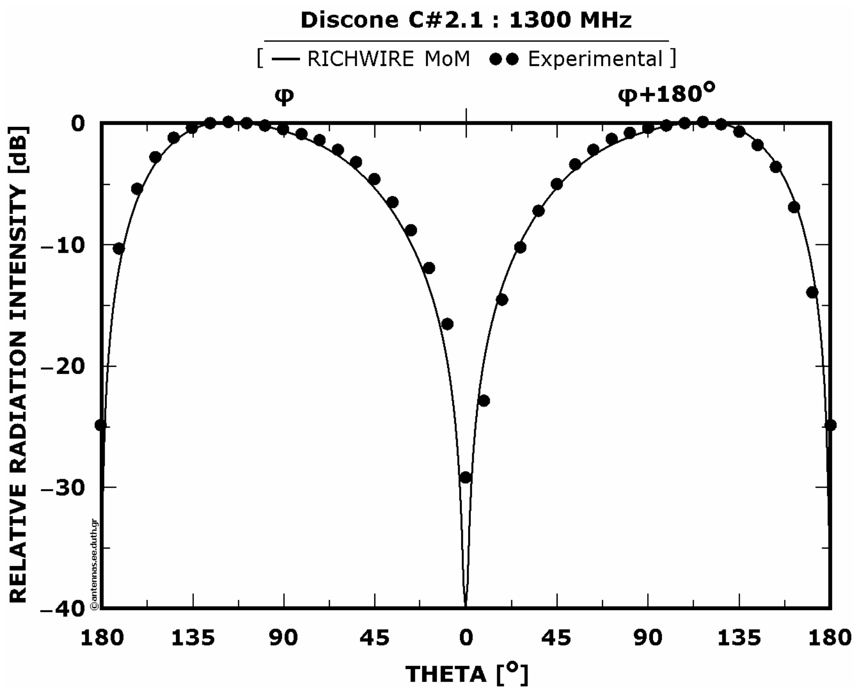


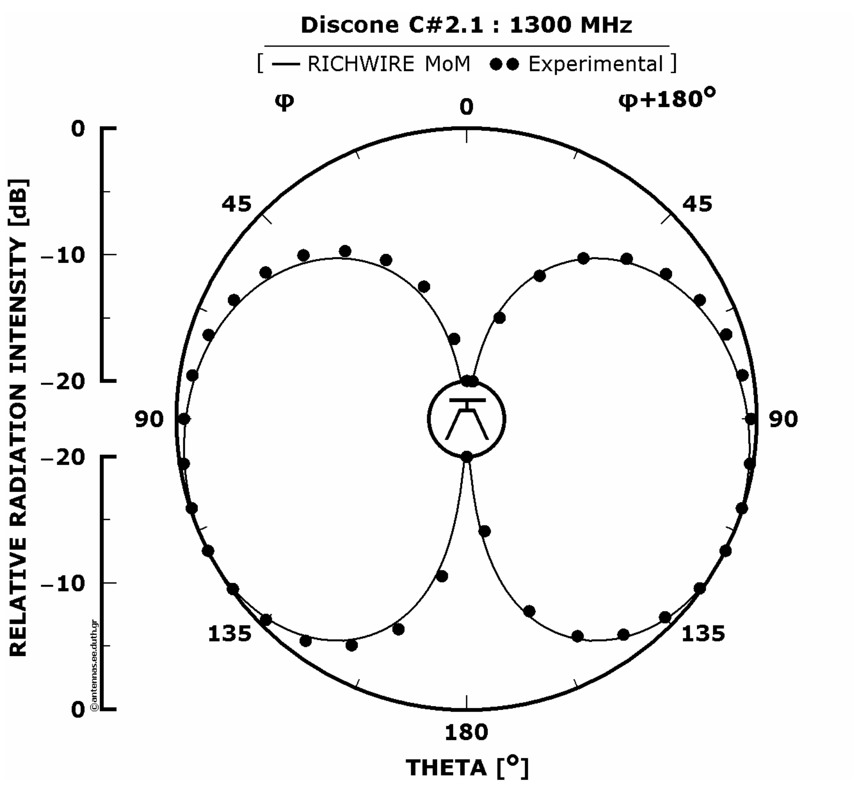
Σχήμα 5.5.4.7: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



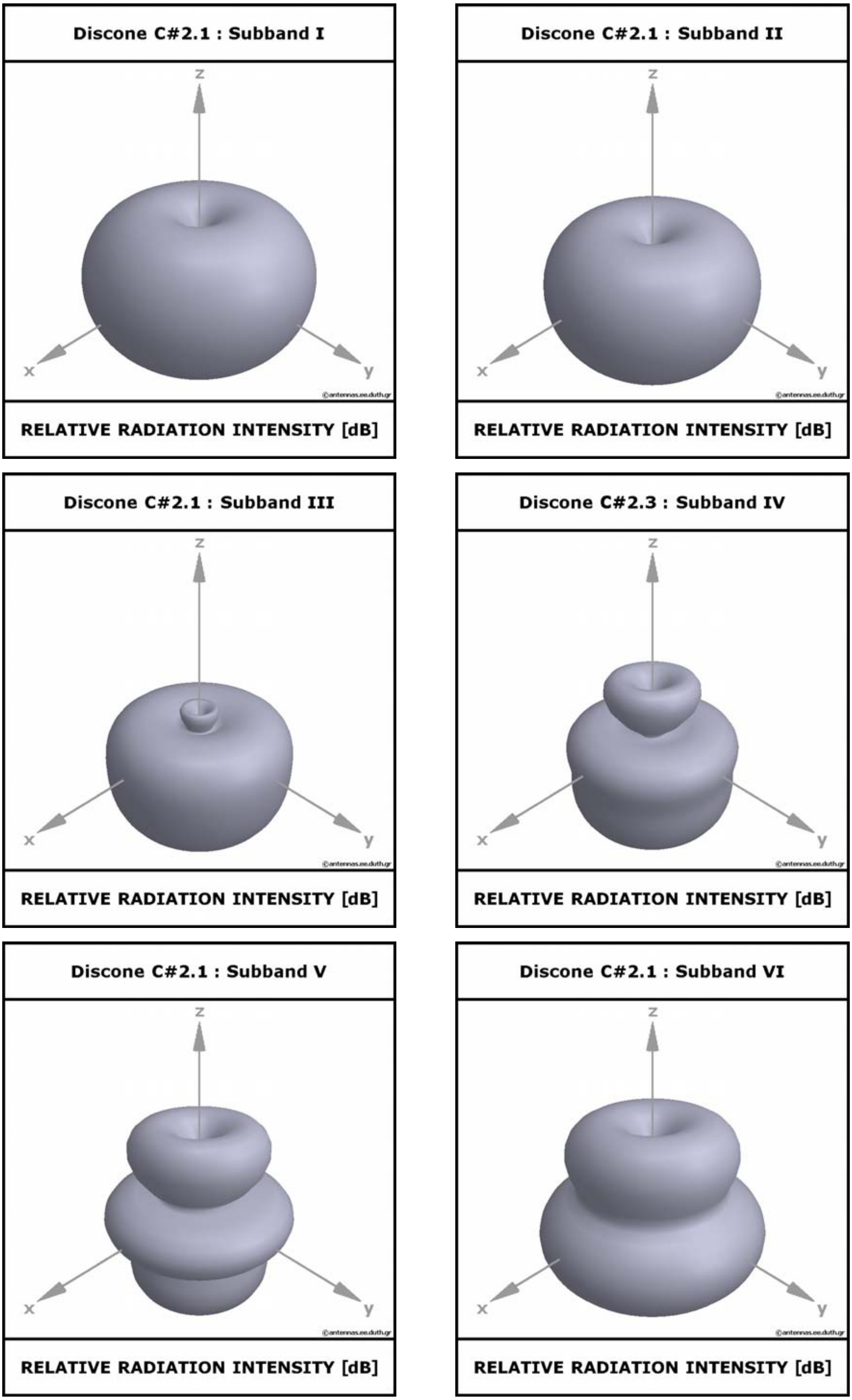


Σχήμα 5.5.4.8: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.





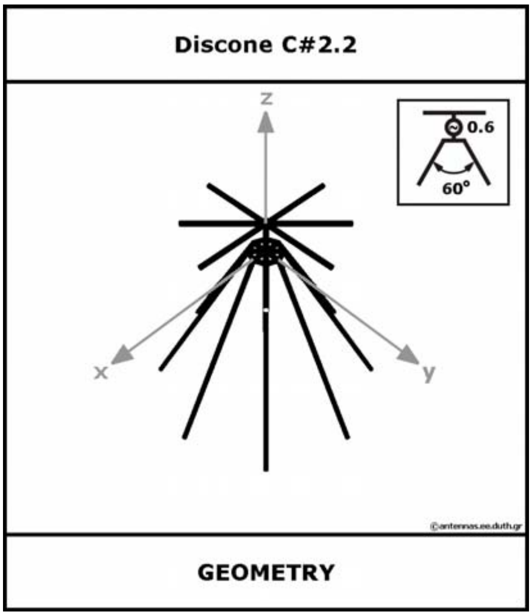
Σχήμα 5.5.4.9: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



Σχήμα 5.5.4.10: Σχετική ένταση ακτινοβολίας στην κεντρική συχνότητα κάθε υποζώνης.

5.5.5 : Discone C#2.2.

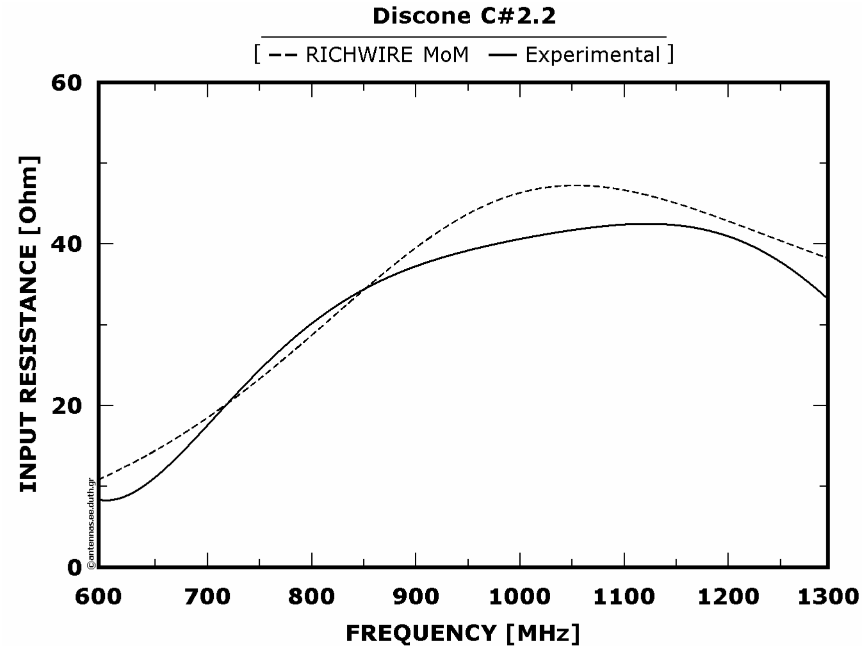
Τα χαρακτηριστικά της κεραίας δίνονται στον Πίνακα 5.5.5.1.



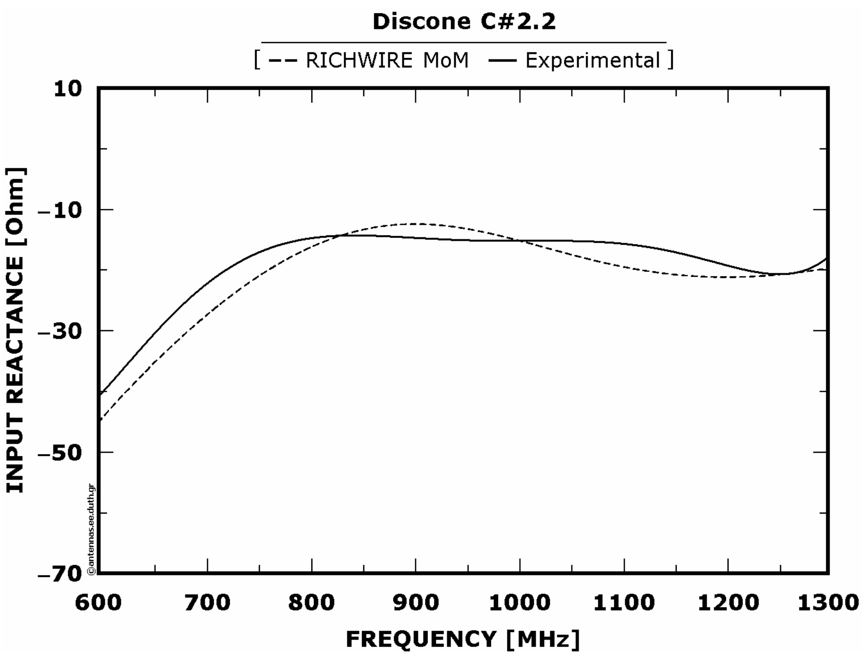
Σχήμα 5.5.5.1: Γεωμετρία της Discone C#2.2.

Πίνακας 5.5.5.1: Χαρακτηριστικά της κεραίας C#2.2.

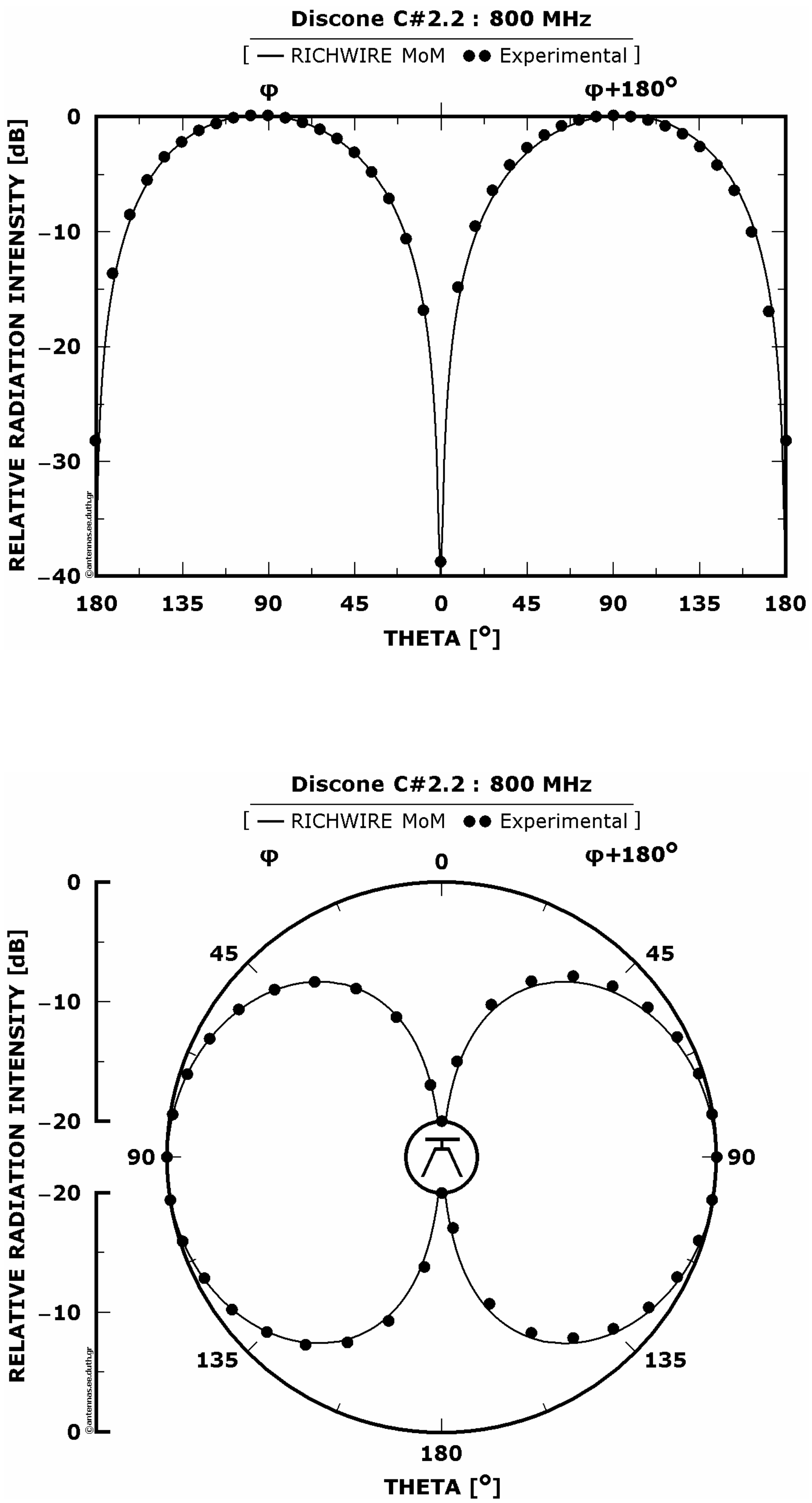
Αριθμός ακτίνων δίσκου	8
Αριθμός ακτίνων κώνου	8
Διάμετρος δίσκου D [cm]	8.8
Απόσταση δίσκου-κώνου s [cm]	0.6
Απόστημα κώνου L [cm]	12.5
Γωνία κώνου α [°]	60
Περιοχή συχνοτήτων προσομοίωσης [MHz]	[600, 2500]
Περιοχή συχνοτήτων μέτρησης [MHz]	[600, 1300]
Περιοχή συχνοτήτων με VSWR ≤ 2 [MHz]	[800, 2500]
Κατευθυντικότητα [dBi]	[1.67, 5.08]



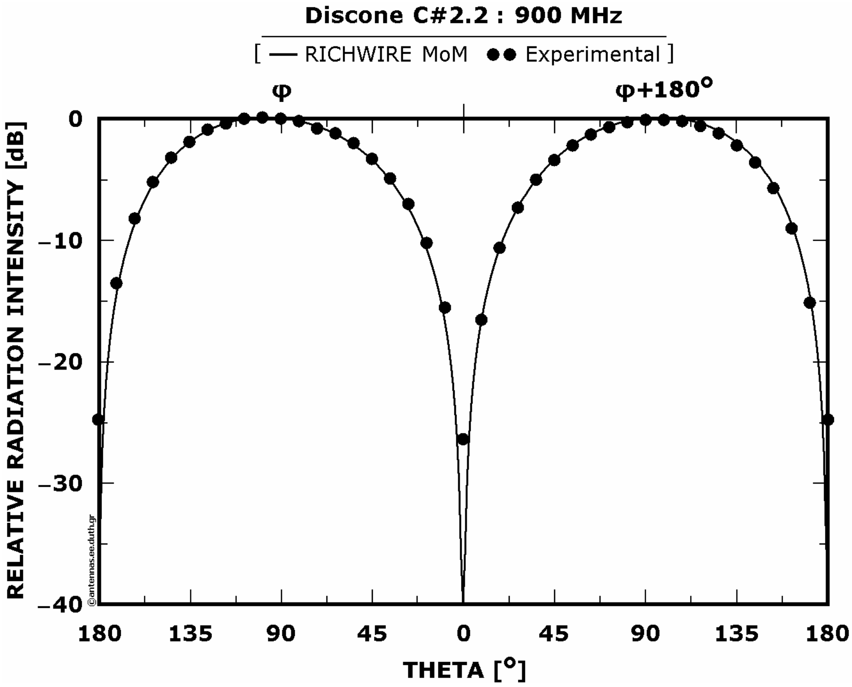
Σχήμα 5.5.5.2: Πραγματικό μέρος της σύνθετης αντίστασης εισόδου.

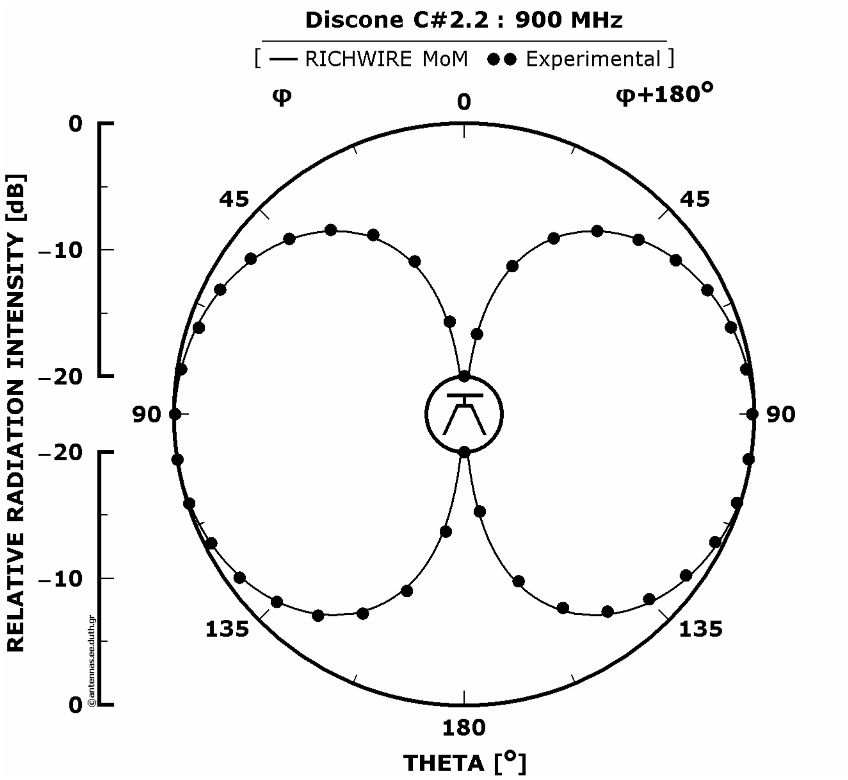


Σχήμα 5.5.5.3: Φανταστικό μέρος της σύνθετης αντίστασης εισόδου.

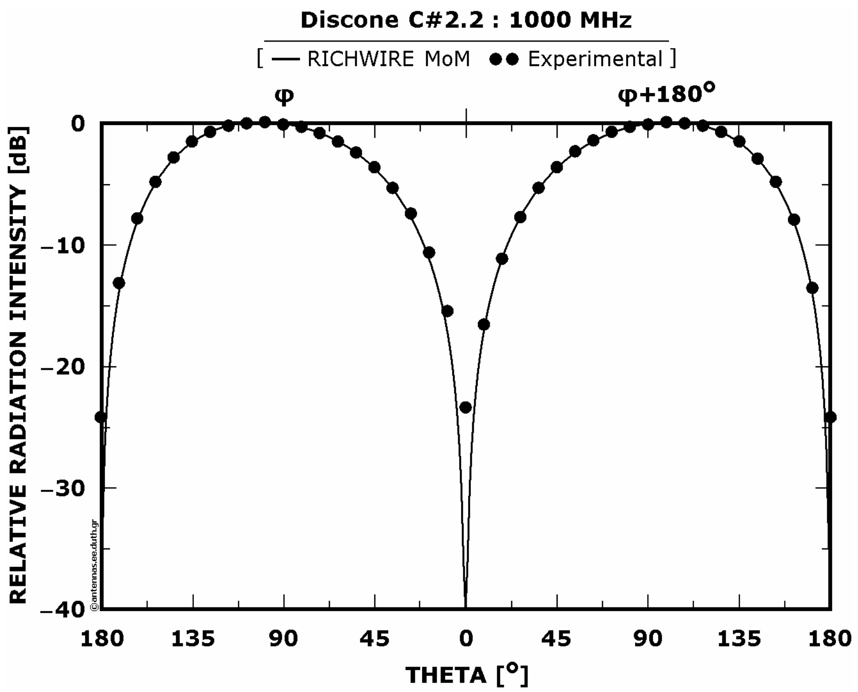


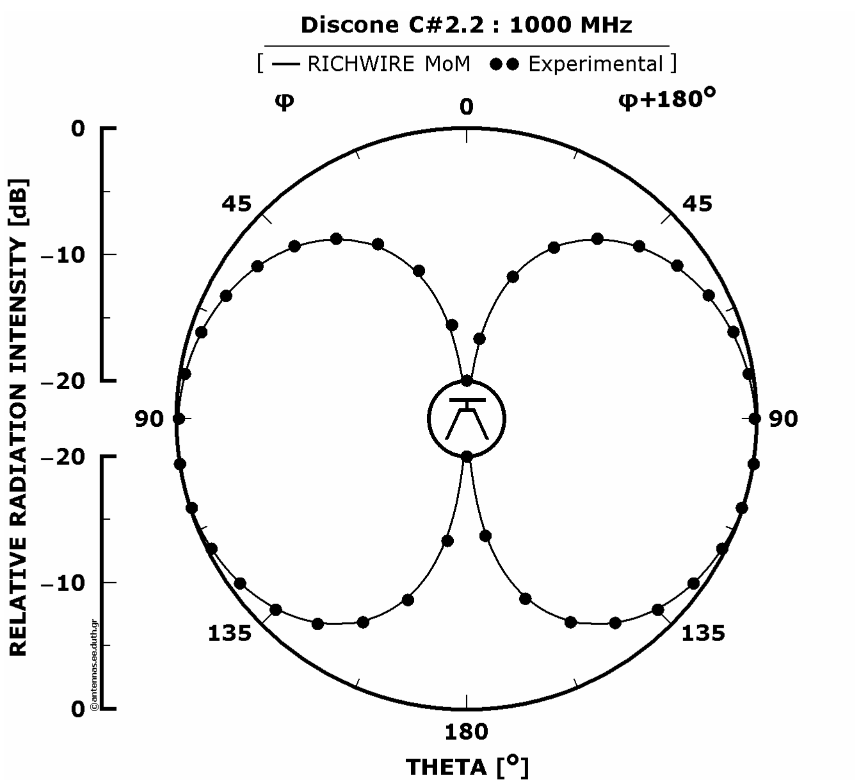
<u>Σχήμα 5.5.5.4</u>: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



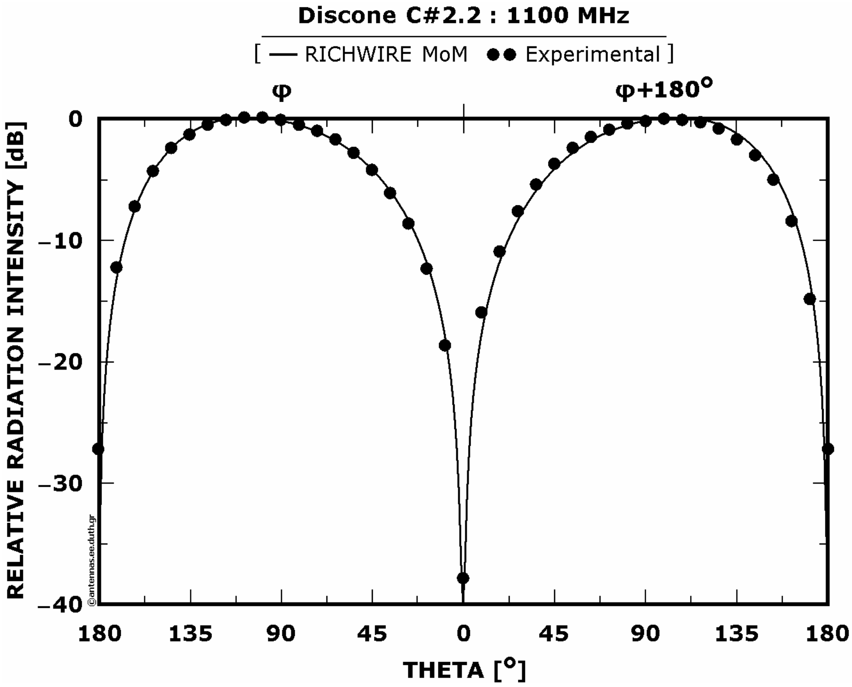


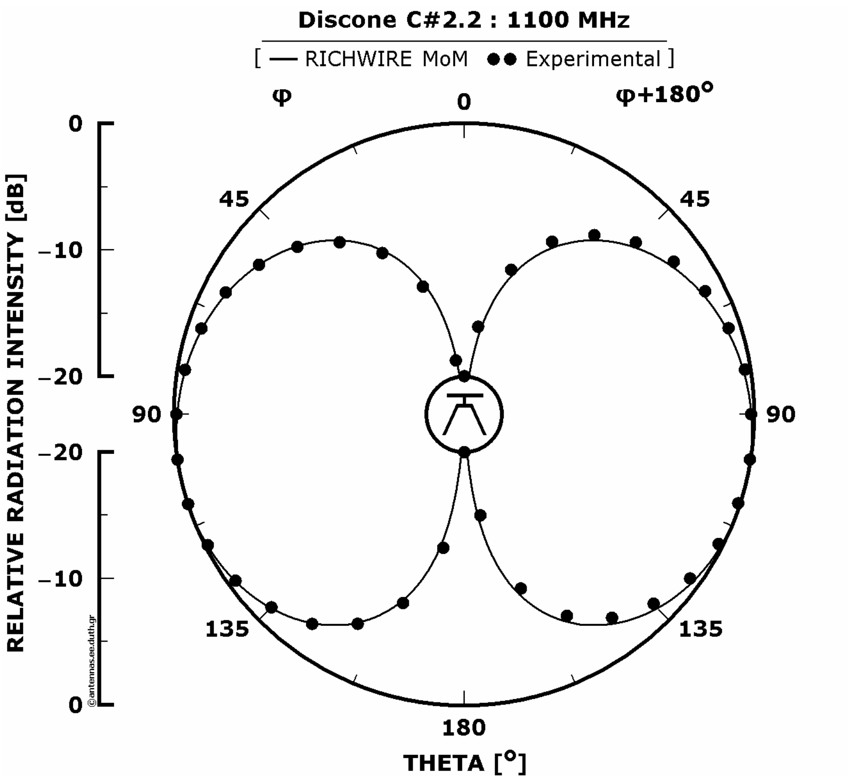
<u>Σχήμα 5.5.5.5</u>: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



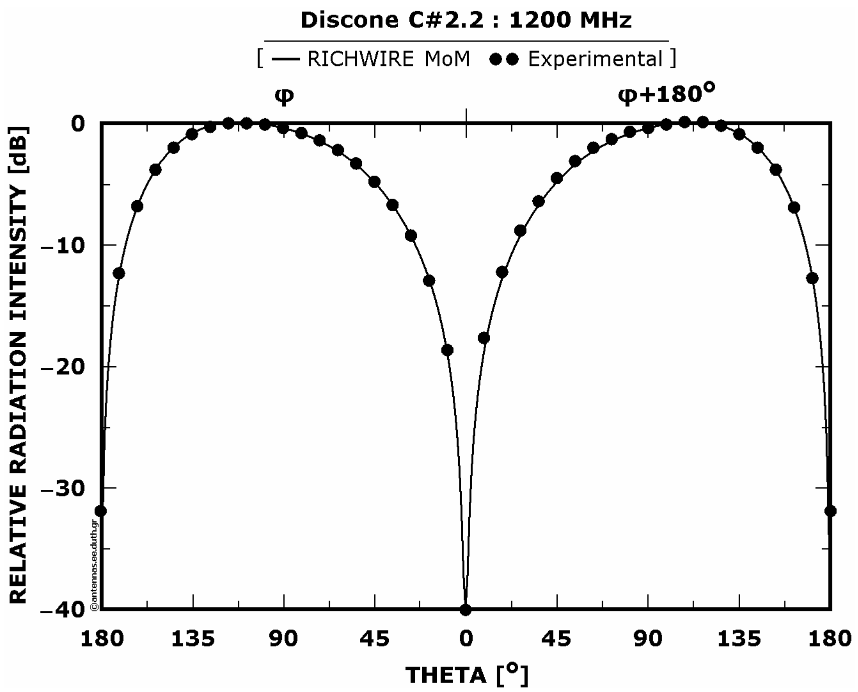


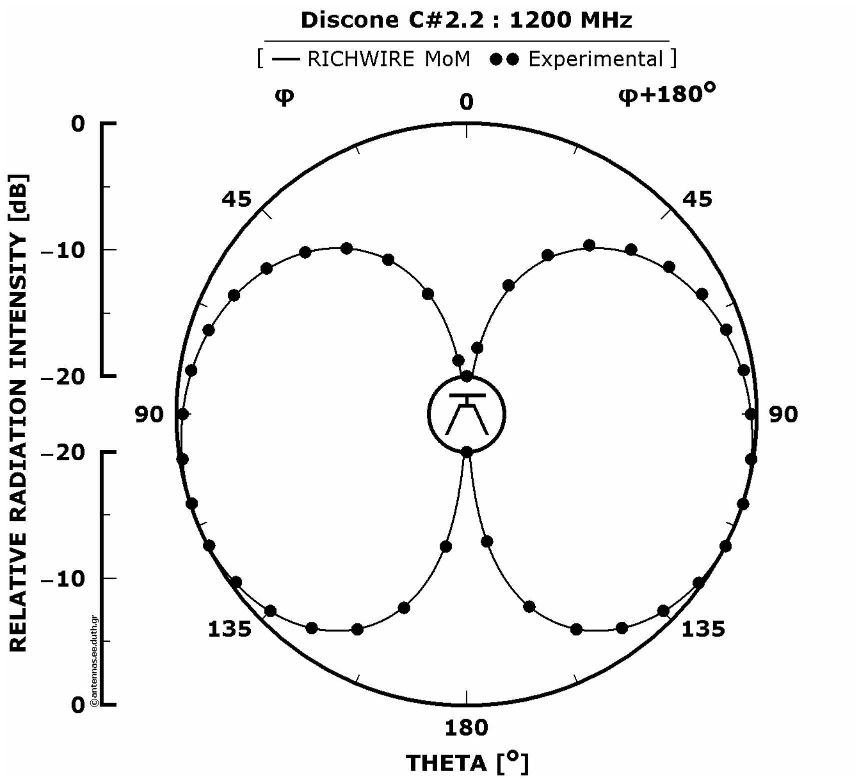
Σχήμα 5.5.5.6: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



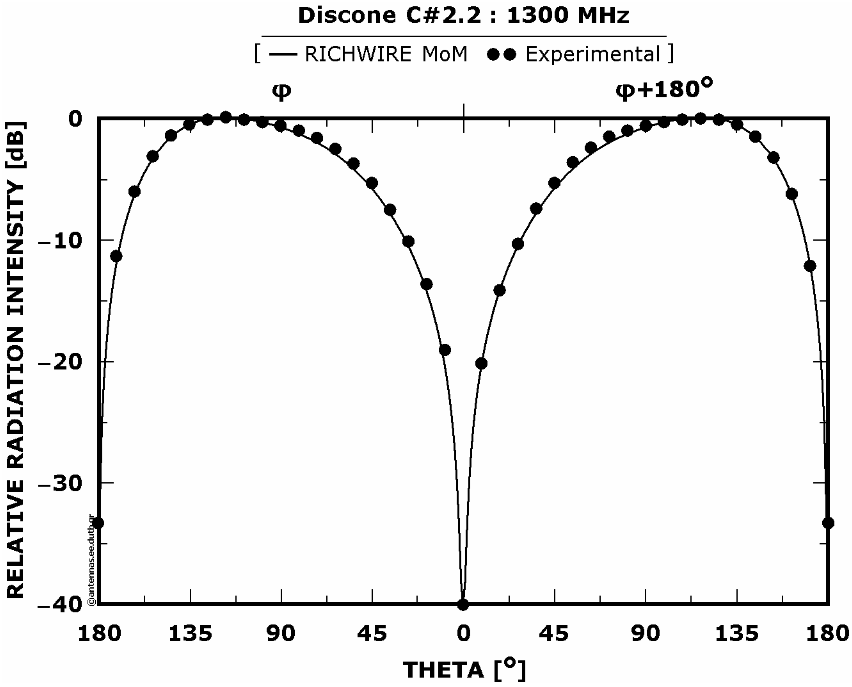


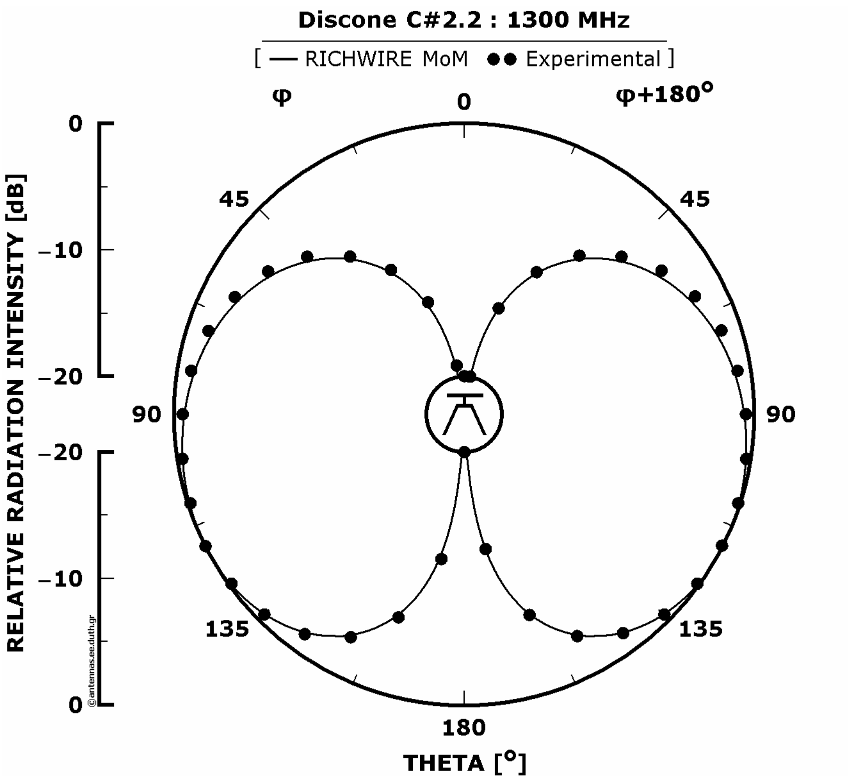
Σχήμα 5.5.5.7: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



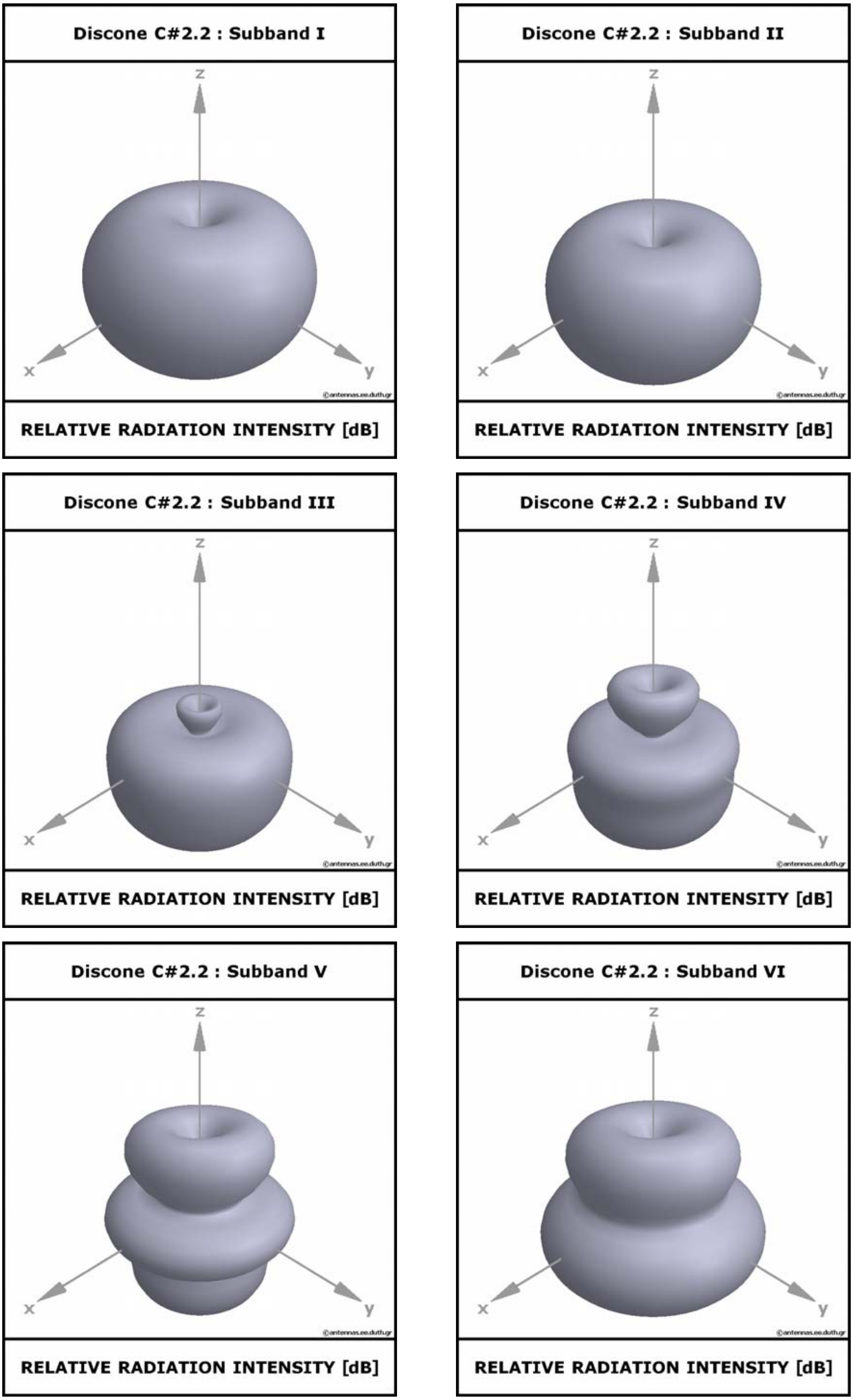


Σχήμα 5.5.5.8: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.





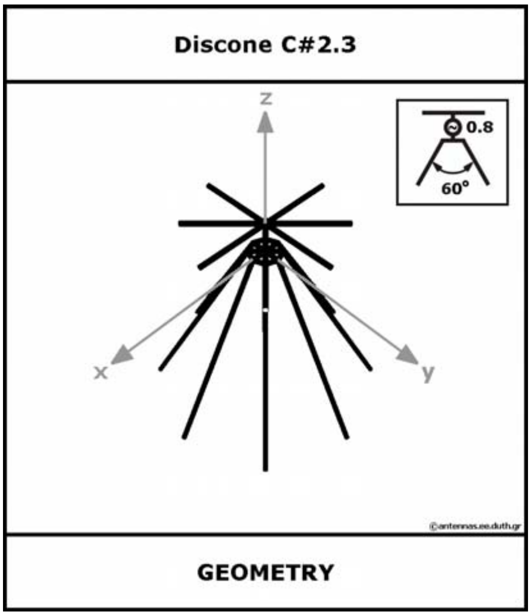
<u>Σχήμα 5.5.5.9</u>: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



<u>Σχήμα 5.5.5.10</u>: Σχετική ένταση ακτινοβολίας στην κεντρική συχνότητα κάθε υποζώνης.

5.5.6 : Discone C#2.3.

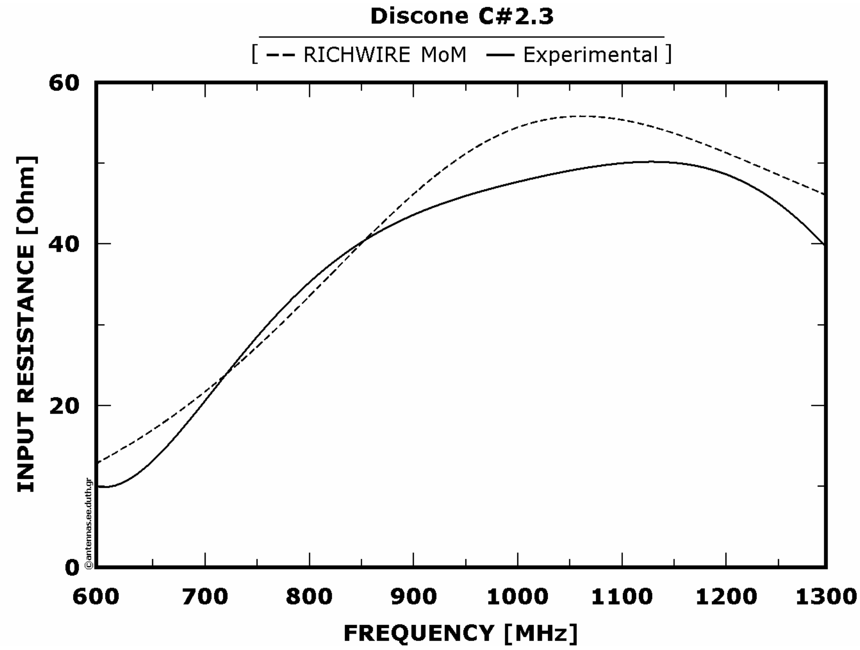
Τα χαρακτηριστικά της κεραίας δίνονται στον Πίνακα 5.5.6.1.



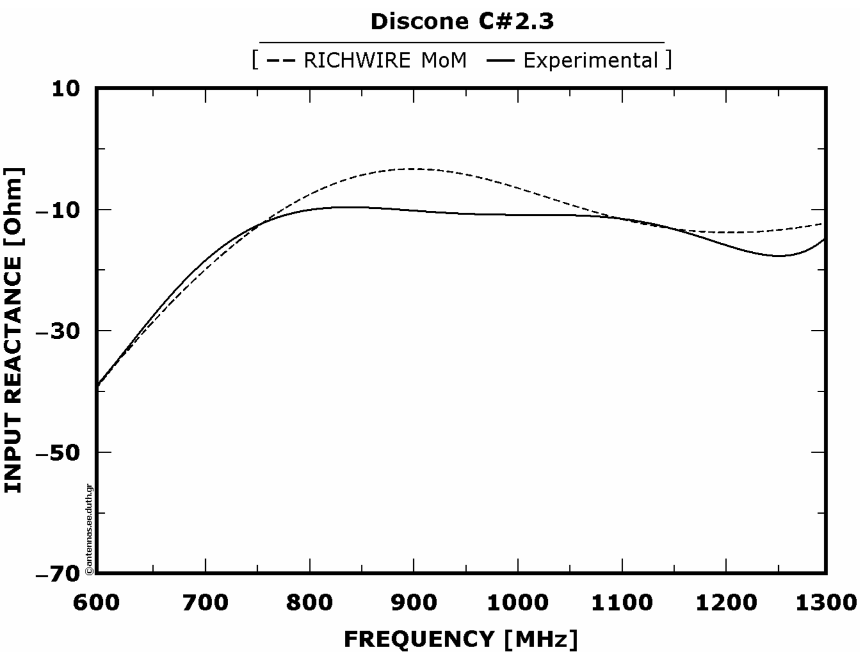
Σχήμα 5.5.6.1: Γεωμετρία της Discone C#2.3.

Πίνακας 5.5.6.1: Χαρακτηριστικά της κεραίας C#2.3.

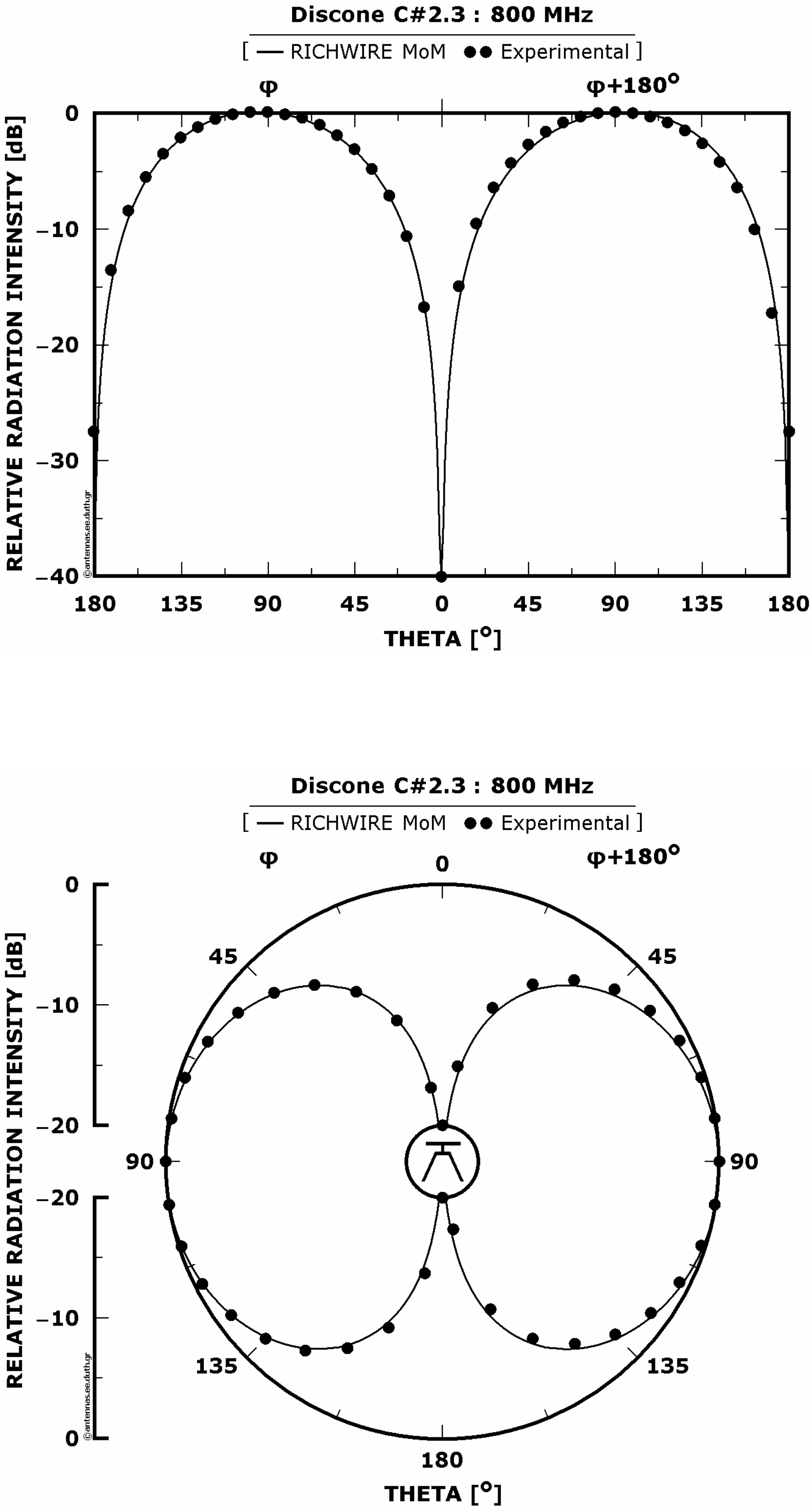
Αριθμός ακτίνων δίσκου	8
Αριθμός ακτίνων κώνου	8
Διάμετρος δίσκου D [cm]	8.8
Απόσταση δίσκου-κώνου s [cm]	0.8
Απόστημα κώνου L [cm]	12.5
Γωνία κώνου α [°]	60
Περιοχή συχνοτήτων προσομοίωσης [MHz]	[600, 2500]
Περιοχή συχνοτήτων μέτρησης [MHz]	[600, 1300]
Περιοχή συχνοτήτων με VSWR ≤ 2 [MHz]	[750, 1820] ∧ [2270, 2500]
Κατευθυντικότητα [dBi]	[1.68, 5.04]



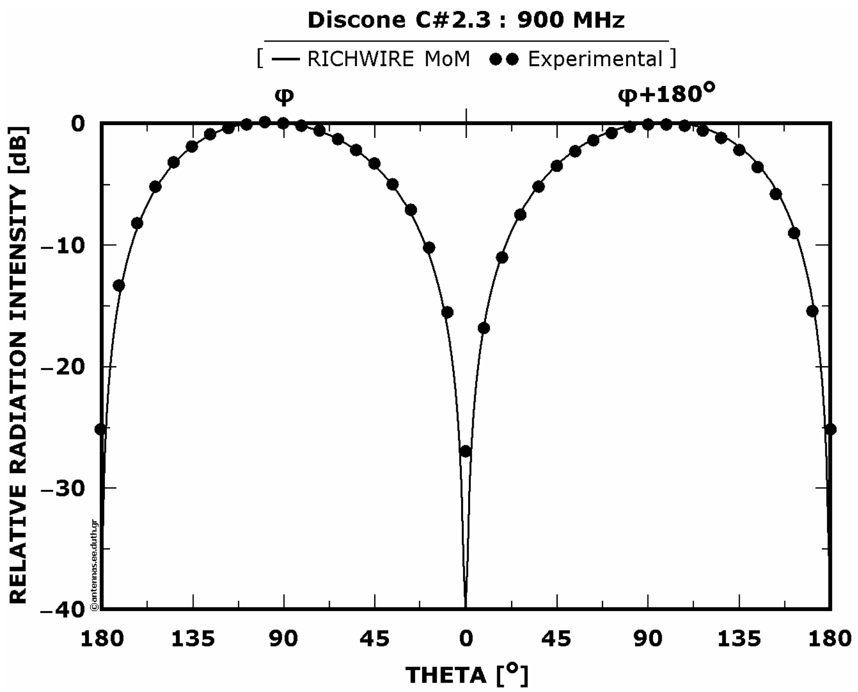
Σχήμα 5.5.6.2: Πραγματικό μέρος της σύνθετης αντίστασης εισόδου.

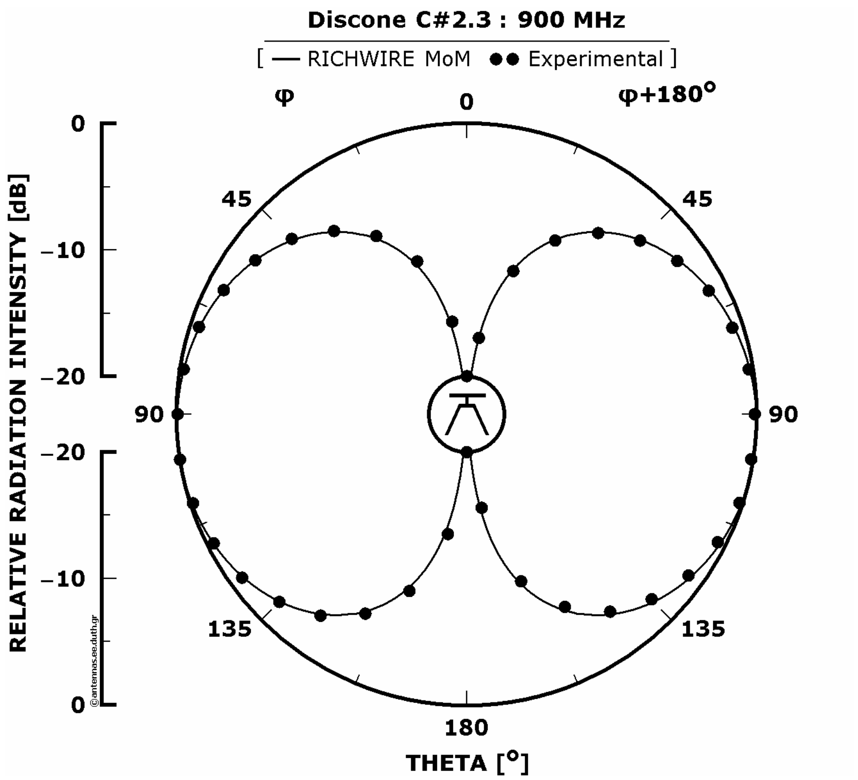


Σχήμα 5.5.6.3: Φανταστικό μέρος της σύνθετης αντίστασης εισόδου.

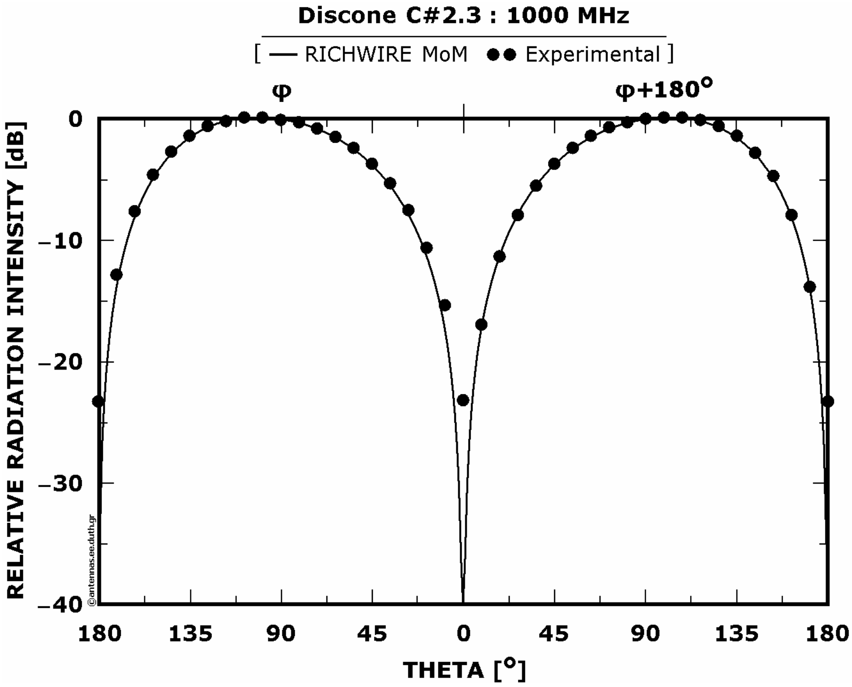


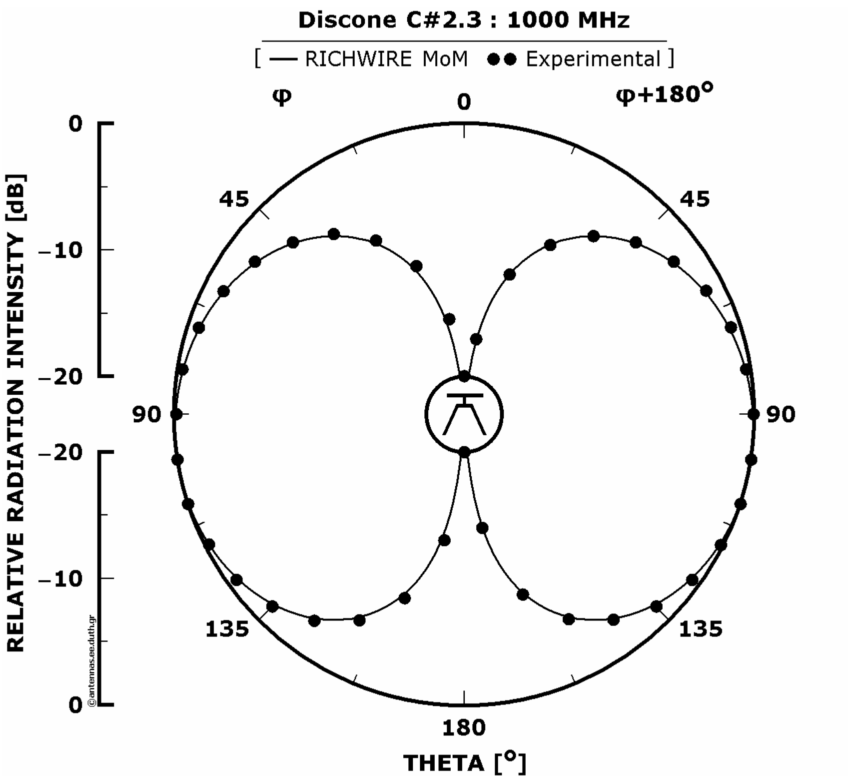
<u>Σχήμα 5.5.6.4</u>: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



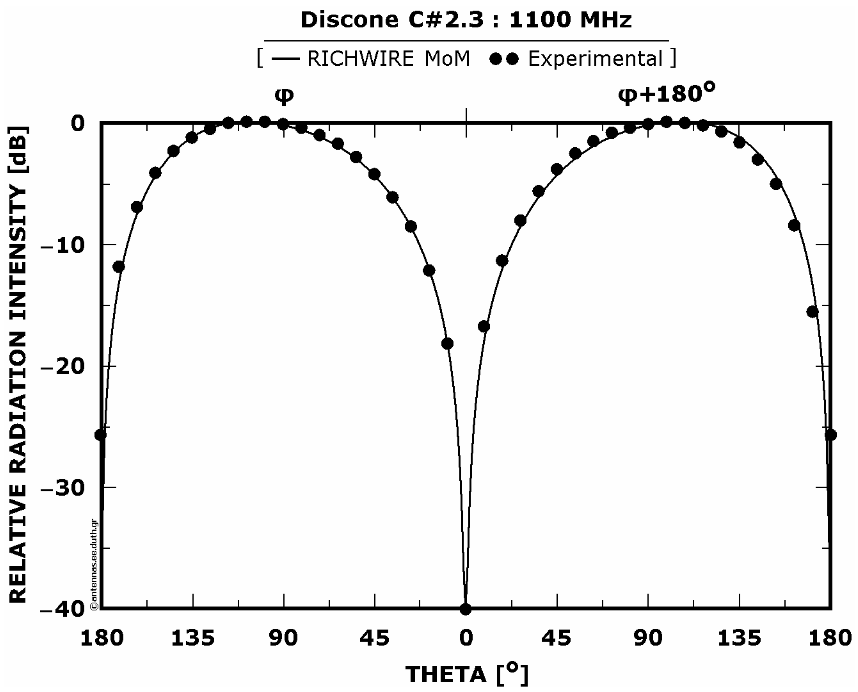


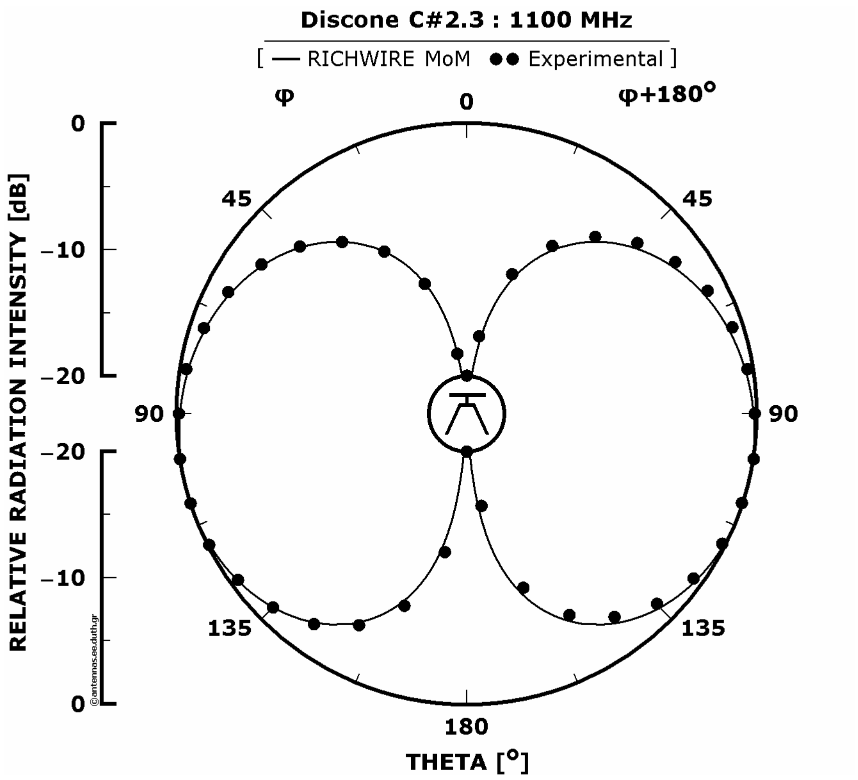
Σχήμα 5.5.6.5: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



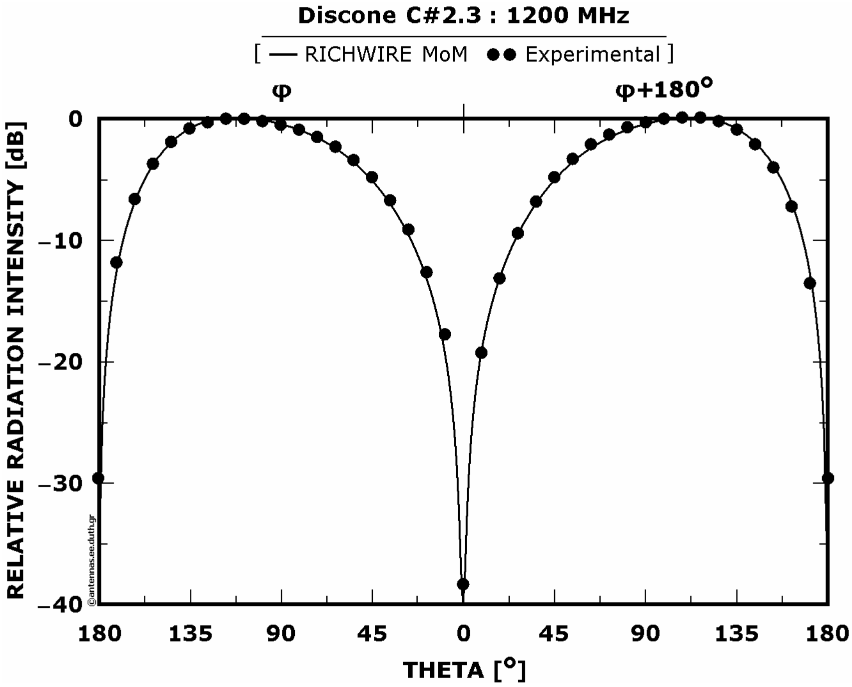


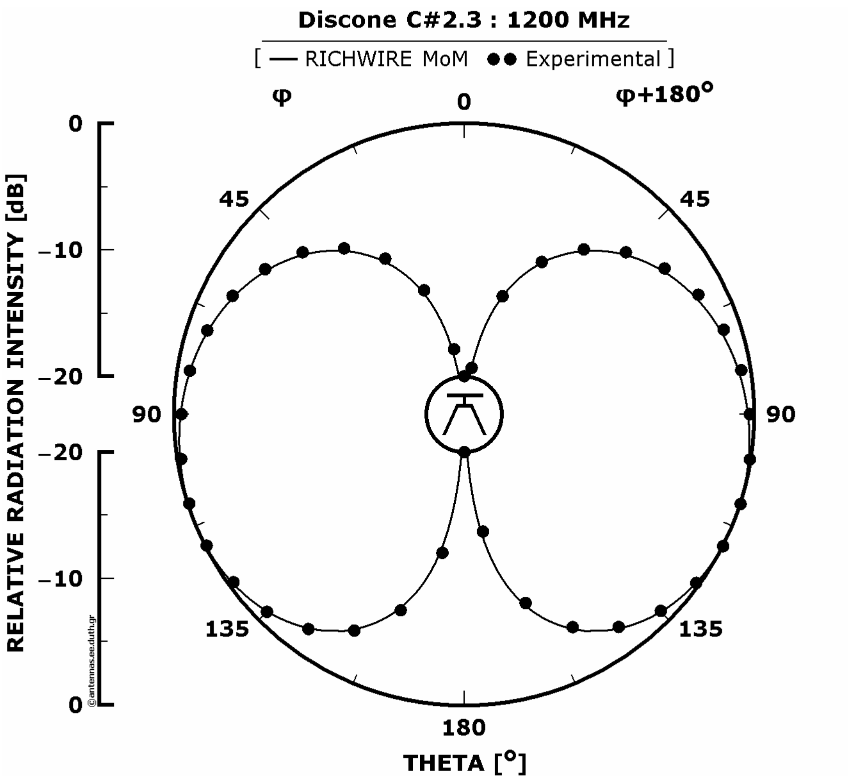
Σχήμα 5.5.6.6: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



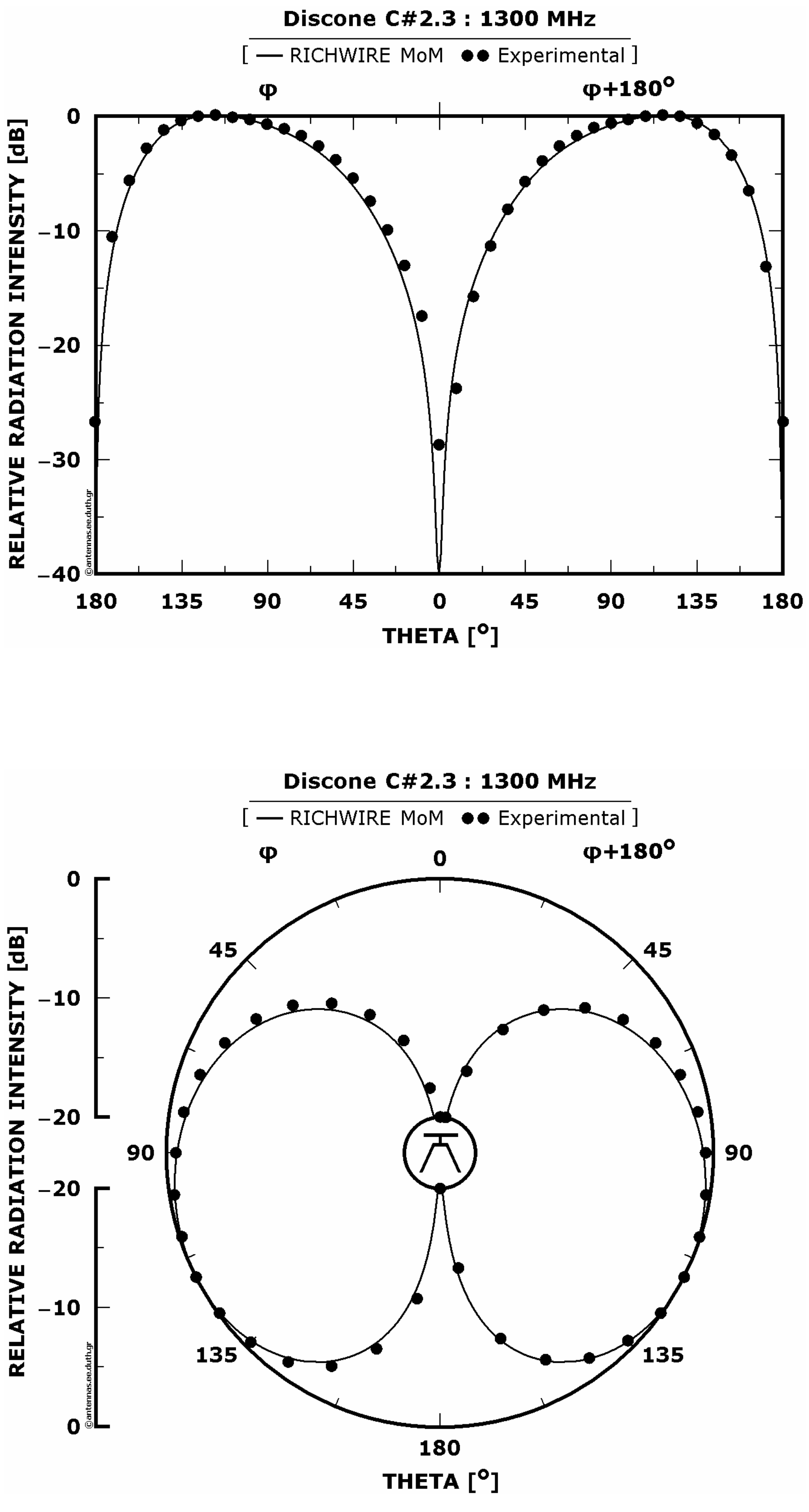


Σχήμα 5.5.6.7: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.

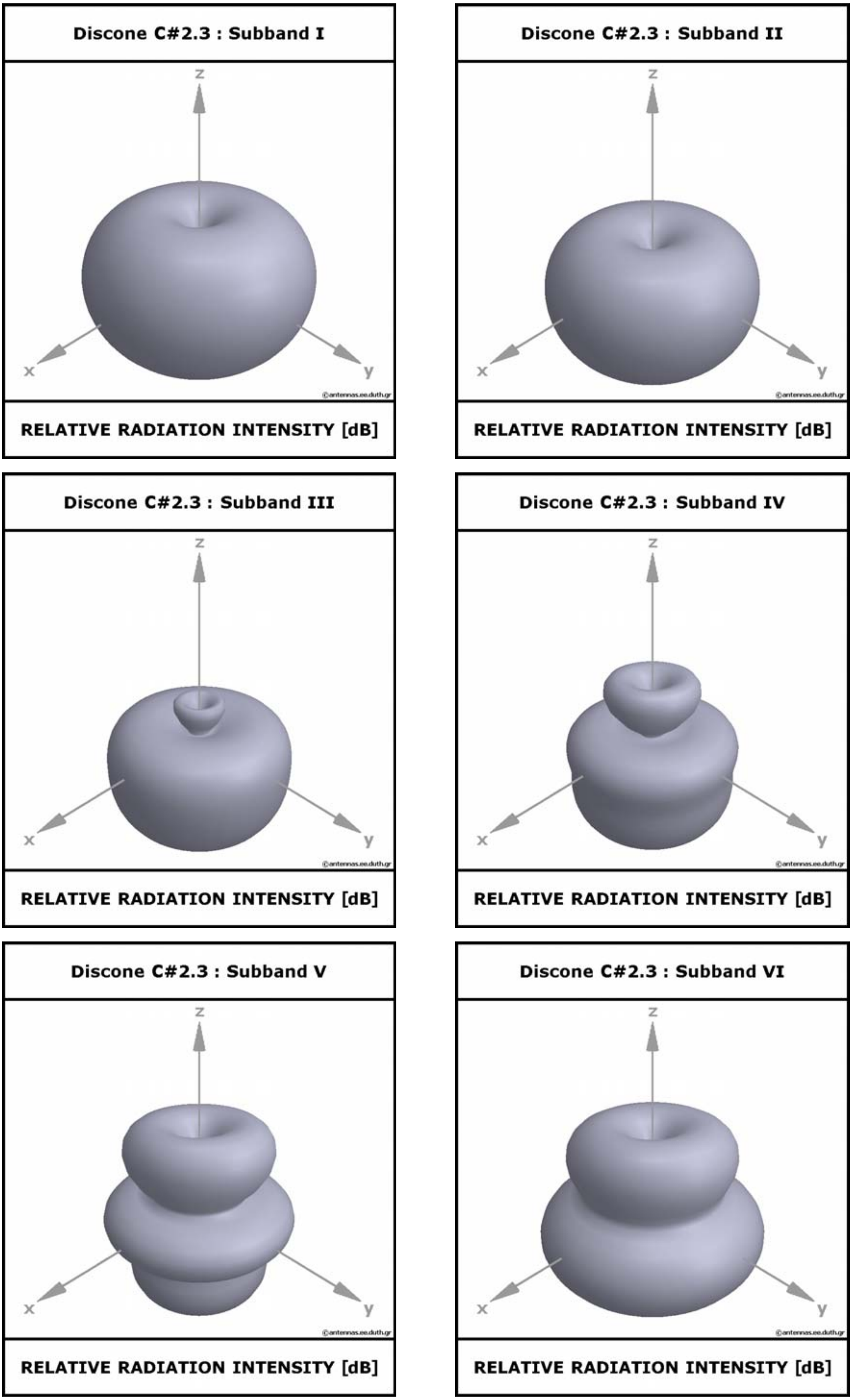




Σχήμα 5.5.6.8: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



<u>Σχήμα 5.5.6.9</u>: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



Σχήμα 5.5.6.10: Σχετική ένταση ακτινοβολίας στην κεντρική συχνότητα κάθε υποζώνης.

Κεφάλαιο 6 : Η Πρωτότυπη Skeleton Discone κεραία.

6.1 : Η μέθοδος εργασίας.

Σκοπός της εργασίας αυτής ήταν η ανάπτυξη κεραίας ευρείας ζώνης συχνοτήτων για την εξυπηρέτηση συστημάτων κινητής τηλεφωνίας $3^{ης}$ γενεάς. Σημειωτέον ότι ο όρος "τρίτη γενεά" χρησιμοποιήθηκε εδώ με την τρέχουσα σημασία του [20] που περιλαμβάνει ευρύτερα και τα συστήματα της $2^{ης}$ γενεάς. Οι ζώνες συχνοτήτων των εν λόγω συστημάτων, όπως καθορίζονταν το Σεπτέμβριο του 2002 από ένα πλήθος σχετικών διεθνών προτύπων [1]-[21], εξακολουθούν ακόμη, τη στιγμή που γράφονται οι γραμμές αυτές τον Οκτώβριο του 2003, να είναι όλες υποζώνες της περιοχής των [800, 2500] MHz. Έτσι, αν και ελήφθησαν υπόψη εδώ τα στοιχεία που ήταν διαθέσιμα για το συγκεκριμένο καθορισμό των ζωνών συχνοτήτων λειτουργίας που ίσχυαν τότε και των έξι υποζωνών I-VI όπως ορίστηκαν στην παράγραφο 5.1, το γεγονός αυτό σε τίποτα δεν περιορίζει τη γενικότητα της μελέτης. Επιζητήθηκε λοιπόν η ανάπτυξη μίας κεραίας που να λειτουργεί ικανοποιητικά στη ευρεία αυτή ζώνη συχνοτήτων έτσι ώστε να καλύπτει τις ανάγκες οποιουδήποτε από τα εν λόγω συστήματα, ανεξάρτητα από τον εξειδικευμένο καθορισμό της ζώνης συχνοτήτων λειτουργίας του.

Κατόπιν τούτων αποφασίστηκε αρχικά ότι η πραγματοποίηση του σκοπού αυτού θα μπορούσε να εκπληρωθεί με την ανάπτυξη μίας κεραίας της οποίας η θεμελιώδης κυκλωματική και πεδιακή συμπεριφορά να παρουσιάζει, στην ευρεία αυτή περιοχή συχνοτήτων των [800, 2500] MHz, τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

(1) Ικανοποιητική προσαρμογή της αντίστασης εισόδου και

(2) στο οριζόντιο επίπεδο: σχεδόν παγκατευθυντικό διάγραμμα ακτινοβολίας ανά συχνότητα και με αποδεκτή μεταβολή της έντασης ακτινοβολίας συνολικά.

Υιοθετήθηκαν λοιπόν ποσοτικά κριτήρια τα οποία πιστεύεται ότι καλύπτουν επαρκώς και τις απαιτήσεις αυτές, τα οποία αντιστοίχως είναι:

(1) Λόγος στασίμων κυμάτων $\text{VSWR} \le 2$ και

(2) στο οριζόντιο επίπεδο: περίπου κυκλικό διάγραμμα ακτινοβολίας $\text{U}/\text{U}_{\max} \simeq 0\text{dB}$ ανά συχνότητα και $-3\text{dB} \le \text{U}^{\min}/\text{U}^{\max}$ συνολικά.

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε η επιλογή του υλικού και της μορφής της κεραίας που καθορίστηκαν με βάση την αυτοδυναμία της υπάρχουσας θεωρητικής, προγραμματιστικής, σχεδιαστικής, υπολογιστικής, κατασκευαστικής και μετρητικής υποδομής.

Τέλος, μετά από τη συγκέντρωση και μελέτη των διαθεσίμων πηγών, επελέγη προς δοκιμή η κεραία Skeleton Discone.

6.2 : Η επιλογή της κεραίας.

Μελετήσαμε αναλυτικά, υπολογίσαμε, σχεδιάσαμε, προσομοιώσαμε, κατασκευάσαμε και μετρήσαμε τρεις ομάδες κεραιών με γωνίες κώνου 120°, 90° και 60°, μερικές από τις οποίες φαίνονται στο Σχήμα 6.2.1.

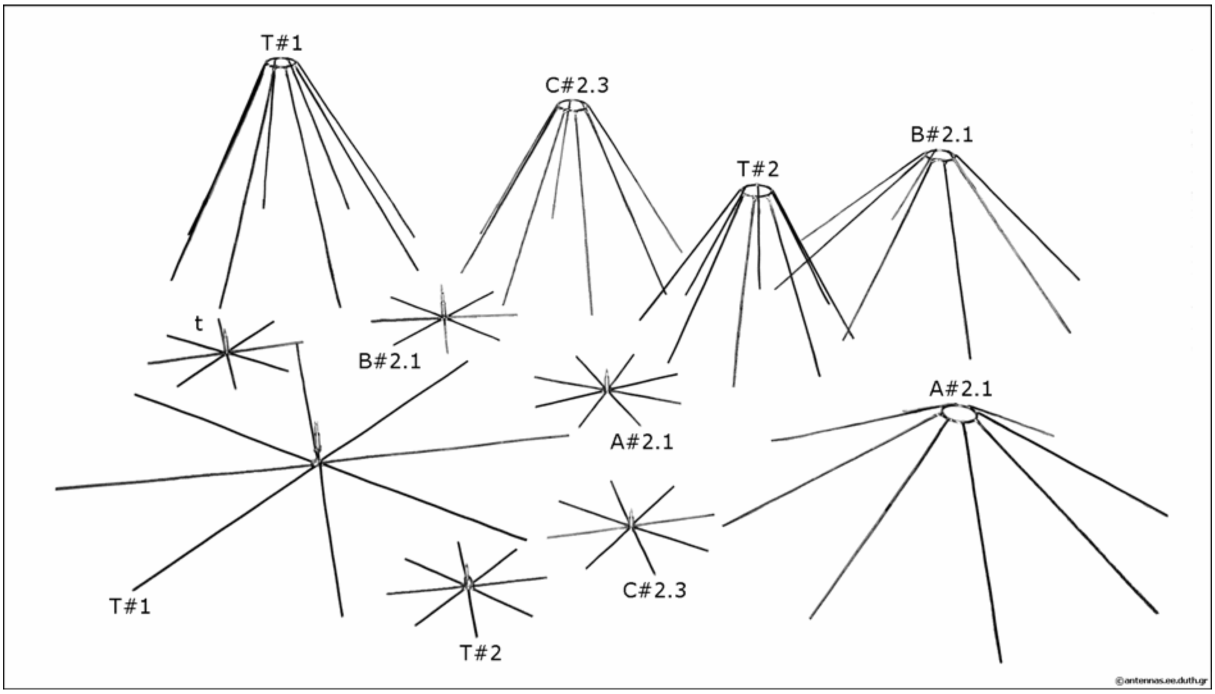
Για την προσομοίωση χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο Disc-Frustum Cone με εφαρμογή των σχέσεων

$$\text{L} = \frac{1}{4}\cdot\lambda_c, \quad \text{D} = 0.7\cdot\text{C}, \quad \text{s} = 0.3\cdot\text{d} \tag{6.2.1}$$

$$\text{L} = 1.15\cdot\frac{1}{4}\cdot\lambda_c, \quad \text{D} = 0.75\cdot\text{C}, \quad \text{s} = 0.5\cdot\text{d} \tag{6.2.2}$$

και των παρατηρήσεων για την $f_{\min}$ ελάχιστη συχνότητα λειτουργίας [45] και για το απόστημα L του κώνου ίσο με λ/3 σε αυτήν τη συχνότητα για τη Skeleton Discone [39],

$$f_{\min} = 800 \Rightarrow \lambda = \frac{300}{800} = 0.375 \Rightarrow \frac{1}{3}\cdot\lambda = 0.125 \Rightarrow \text{L} = 12.5 \text{ cm} \tag{6.2.3}$$



Σχήμα 6.2.1: Μερικές Skeleton Discone κεραίες.

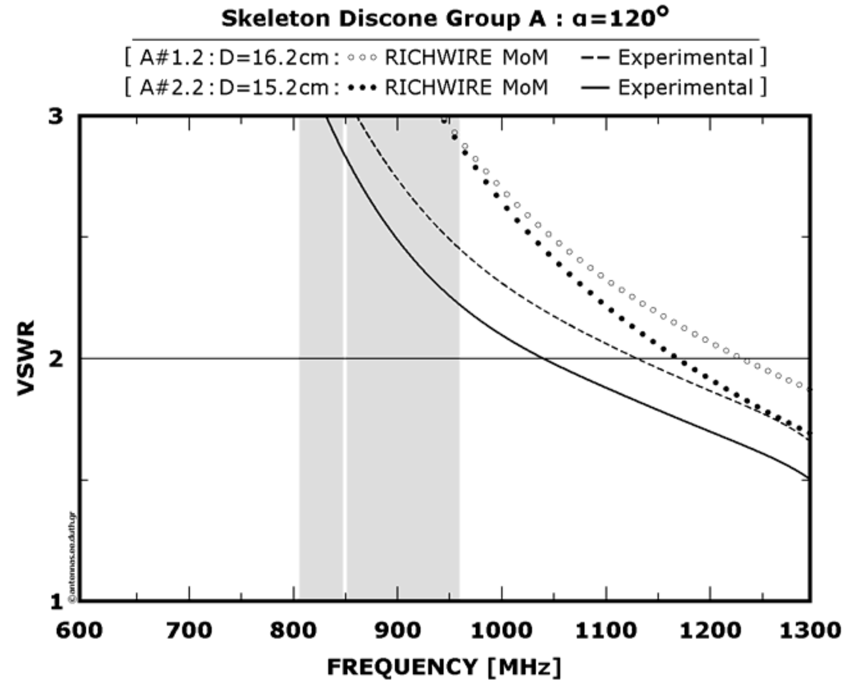
Από τα Σχ. 3.6.1-3.6.20 για τις καμπύλες του λόγου στασίμων κυμάτων και της σχετικής έντασης ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο συναρτήσει της συχνότητας, είναι φανερό ότι μεταξύ των μοντέλων της προσομοίωσης, εκείνα που εμφανίζουν χαμηλότερες τιμές και μικρότερη μεταβολή του VSWR με ανεκτή μεταβολή της σχετικής έντασης ακτινοβολίας, σε όλη τη ζώνη συχνοτήτων [800, 2500] MHz, είναι αυτά για τα οποία $s = 0.6\,\text{cm}$. Τα μοντέλα αυτά είναι τα #x.2 και μεταξύ αυτών διακρίνεται το μοντέλο C#2.2 που εμφανίζει VSWR ≤ 2 σε όλη τη ζώνη με μικρή διαφορά από το C#1.2.

Από τα διαγράμματα της αντίστασης εισόδου των παραγράφων 5.3, 5.4, και 5.5 παρατηρούμε ότι η μικρότερη απόκλιση μεταξύ της πρόβλεψης από την προσομοίωση και της μέτρησης των κατασκευών εμφανίζεται επίσης για τις κεραίες με $s = 0.6\,\text{cm}$.

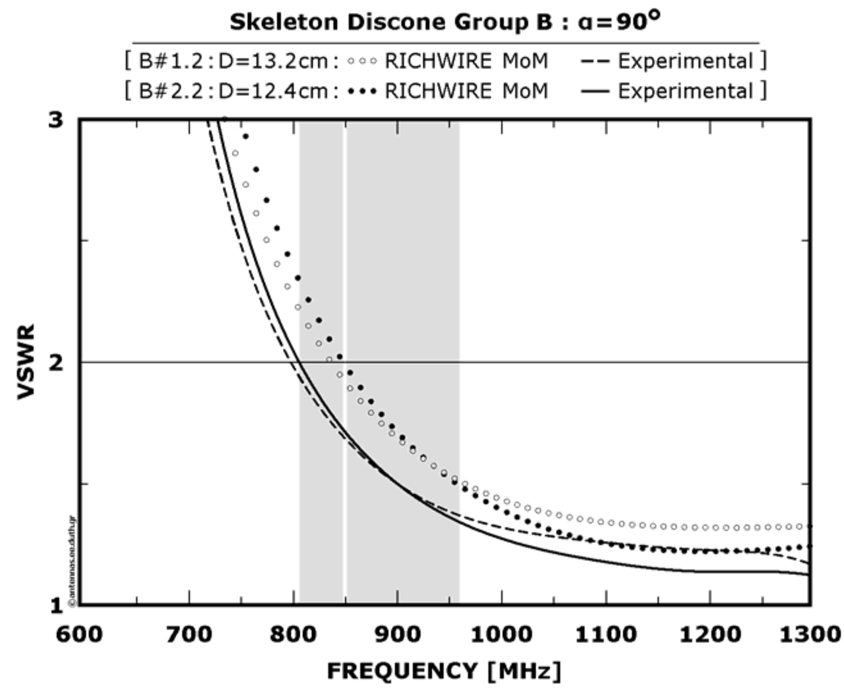
Από τα ανωτέρω αποφασίζουμε πως θα πρέπει να αναζητηθεί η καταλληλότερη κεραία για την επίτευξη του σκοπού μας μεταξύ των μοντέλων με $s = 0.6\,\text{cm}$.

Στην προσπάθειά μας να επιλέξουμε μία κεραία την οποία και θα προτείνουμε ως τελικό αποτέλεσμα αυτής της εργασίας, κρίναμε σκόπιμο να παραθέσουμε συμπερασματικά μόνο το λόγο στασίμων κυμάτων, όπως αυτός προκύπτει από τις μετρήσεις και από την προσομοίωση, για τις εν λόγω #x.2 κεραίες, με σκοπό να καταδείξουμε την ισχυρή συμφωνία μεταξύ πρόβλεψης και μέτρησης στη ζώνη [600, 1300] MHz η οποία περιέχει την αρχή [800, 1300] MHz, της ζώνης που μας ενδιαφέρει. Έτσι, στο Σχήμα 6.2.2 δίνεται το VSWR για τις κεραίες A, στο Σχήμα 6.2.3 για τις κεραίες B και στο Σχήμα 6.2.4 για τις κεραίες C. Στα

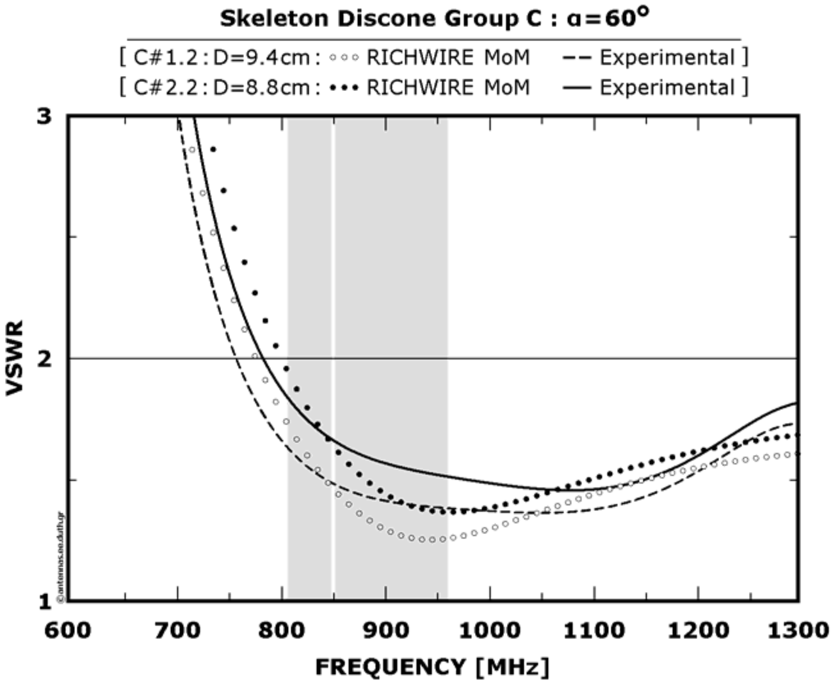
σχήματα αυτά περιορίσαμε το διάστημα τιμών του VSWR μέχρι την τιμή 3 (25% ανακλώμενη ισχύς), αφού η επιλογή γίνεται με το κριτήριο του VSWR ≤ 2.



Σχήμα 6.2.2: Λόγος Στασίμων Κυμάτων για τις Skeleton Discone A κεραίες.



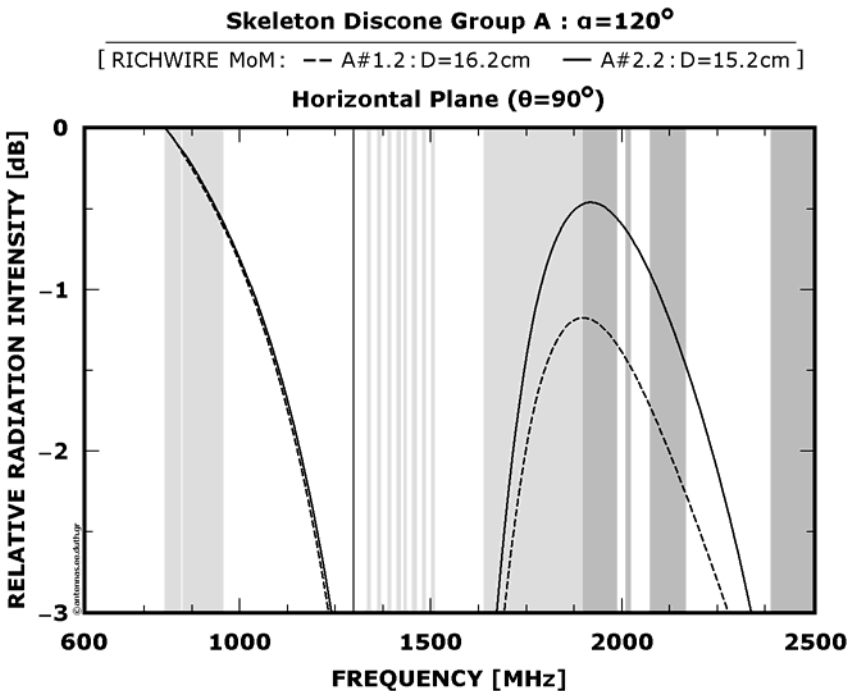
Σχήμα 6.2.3: Λόγος Στασίμων Κυμάτων για τις Skeleton Discone B κεραίες.



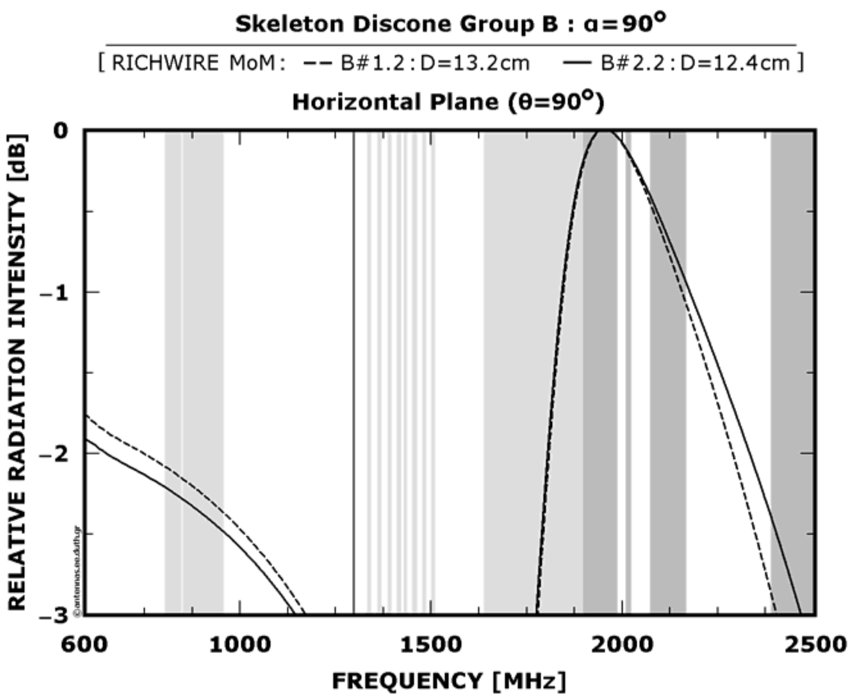
Σχήμα 6.2.4: Λόγος Στασίμων Κυμάτων για τις Skeleton Discone C κεραίες.

Παρατηρούμε ότι και για τις τρεις ομάδες κεραιών η μορφή της καμπύλης του λόγου στασίμων κυμάτων των υπολογισμών και των μετρήσεων διατηρείται και μάλιστα οι μετρήσεις των κατασκευασμένων κεραιών δίνουν σχεδόν όλες μικρότερο VSWR σε σχέση με τους αντίστοιχους υπολογισμούς. Το γεγονός αυτό αποτελεί ισχυρά ένδειξη ότι και για το τέλος της ζώνης [1300, 2500] MHz, η συμφωνία μεταξύ των μετρήσεων και των προβλέψεων αναμένεται να είναι το ίδιο καλή.

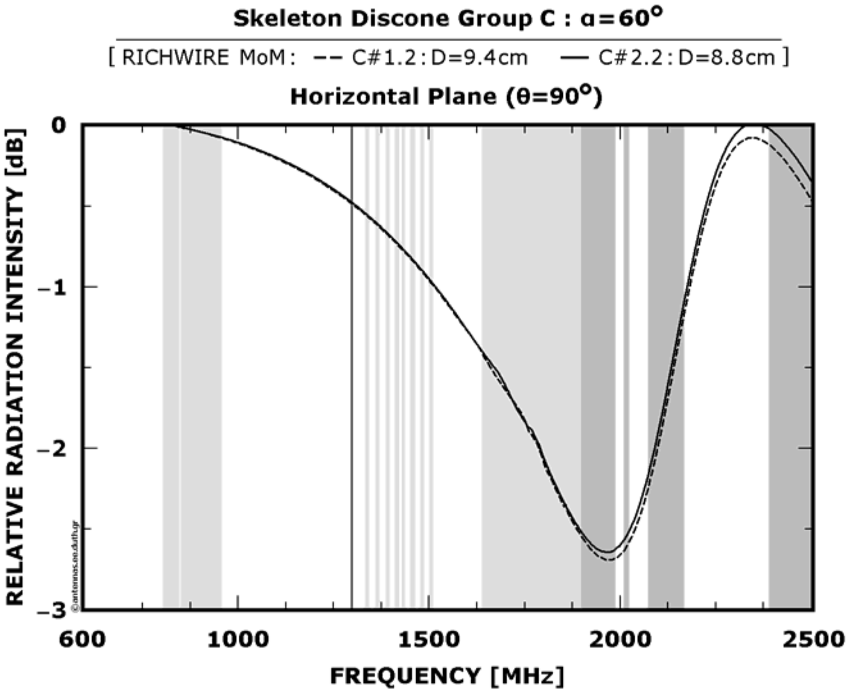
Τέλος, στο Σχήμα 6.2.5 δίνεται η σχετική ένταση ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο για τις κεραίες A, στο Σχήμα 6.2.6 για τις κεραίες B και στο Σχήμα 6.2.7 για τις κεραίες C. Παρατηρούμε ότι και στις τρεις ομάδες τα μοντέλα 2.2 είναι εκείνα με την μικρότερη μεταβολή της έντασης ακτινοβολίας. Είναι φανερό ότι το μοντέλο C#2.2 εμφανίζει μικρότερη μεταβολή που δεν υπερβαίνει τα -2.65dB με μικρή διαφορά πάλι από το C#1.2 όπως προηγουμένως.



Σχήμα 6.2.5: Ένταση Ακτινοβολίας στο Οριζόντιο επίπεδο για τις Skeleton Discone A.



Σχήμα 6.2.6: Ένταση Ακτινοβολίας στο Οριζόντιο επίπεδο για τις Skeleton Discone B



Σχήμα 6.2.7: Ένταση Ακτινοβολίας στο Οριζόντιο επίπεδο για τις Skeleton Discone C.

6.3 : Η Πρωτότυπη Skeleton Discone κεραία.

Από τις προηγούμενες παρατηρήσεις και επειδή η σύμπτωση των μετρήσεων των διαγραμμάτων ακτινοβολίας με εκείνα της προσομοιώσεις είναι σχεδόν απόλυτη, επιλέγουμε από τις 20 κεραίες που κατασκευάσθηκαν και μελετήθηκαν, την κεραία Skeleton Discone C#2.2. ως την πλέον κατάλληλη για την ικανοποίηση των ποσοτικών κριτηρίων που υιοθετήσαμε στην ευρεία ζώνη συχνοτήτων [800, 2500] MHz. Έτσι αυτή είναι η πρωτότυπη Skeleton Discone κεραία την οποία αναπτύξαμε.

Στο Σχήμα 6.3.1 φαίνεται το μοντέλο προσομοίωσης της πρωτότυπης κεραίας και στο Σχήμα 6.3.2 η κατασκευασμένη κεραία.

Στη συνέχεια αναφερόμαστε αποκλειστικά στα χαρακτηριστικά της πρωτότυπης κεραίας.

[Α] Για τα κυκλωματικά χαρακτηριστικά έχουμε:

(i) Στα Σχήματα 6.3.3, 6.3.4, το λόγο στασίμων κυμάτων για την περιοχή συχνοτήτων των μετρήσεων [600, 1300] MHz και για τη ζώνη [600, 2500] MHz

(ii) Στα Σχήματα 6.3.5, 6.3.6, το πραγματικό και φανταστικό μέρος της σύνθετης αντίστασης εισόδου για την περιοχή συχνοτήτων των μετρήσεων [600, 1300] MHz

(iii) Στα Σχήματα 6.3.7, 6.3.8, τη σύνθετη αντίσταση εισόδου για την περιοχή συχνοτήτων των μετρήσεων [600, 1300] MHz και για τη ζώνη [600, 2500] MHz

(iv) Στα Σχήματα 6.3.9, 6.3.10, το συντελεστή ανάκλασης σε χάρτη Smith, ως προς γραμμή μεταφοράς 50Ω, για την περιοχή συχνοτήτων των μετρήσεων [600, 1300] MHz και για τη ζώνη [600, 2500] MHz

(v) Στα Σχήματα 6.3.11, 6.3.12, την απώλεια επιστροφής για την περιοχή συχνοτήτων των μετρήσεων [600, 1300] MHz και για τη ζώνη [600, 2500] MHz

[Β] Για τα πεδιακά χαρακτηριστικά έχουμε:

(i) Στα Σχήματα 6.3.13, 6.3.14, την κατευθυντικότητα σε dBi και dBd αντιστοίχως για τη ζώνη [600, 2500] MHz

(ii) Στο Σχήμα 6.3.15, την κατευθυντικότητα ως καθαρό αριθμό και αντιστοίχως στο Σχήμα 6.3.16, τη γωνία κλίσης της κατεύθυνσης του μεγίστου ως προς το οριζόντιο επίπεδο, για τη ζώνη [600, 2500] MHz

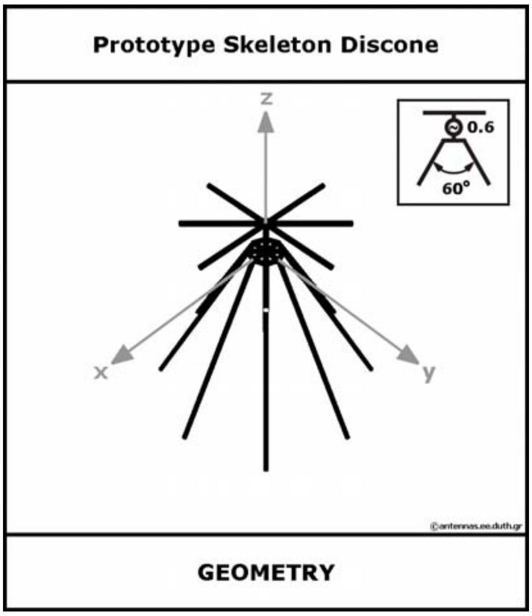
(iii) Στα Σχήματα 6.3.17-6.3.22, έξι διαγράμματα της σχετικής έντασης ακτινοβολίας σε τυχόν κατακόρυφο επίπεδο, τόσο σε καρτεσιανή όσο και σε πολική μορφή, ανά 100 MHz της περιοχής συχνοτήτων [800, 1300] MHz

(iv) Στο Σχήμα 6.3.23, έξι τριδιάστατα διαγράμματα σχετικής έντασης ακτινοβολίας όπως προκύπτουν από την προσομοίωση στην κεντρική συχνότητα κάθε μιας από τις αντίστοιχες έξι υποζώνες συχνοτήτων

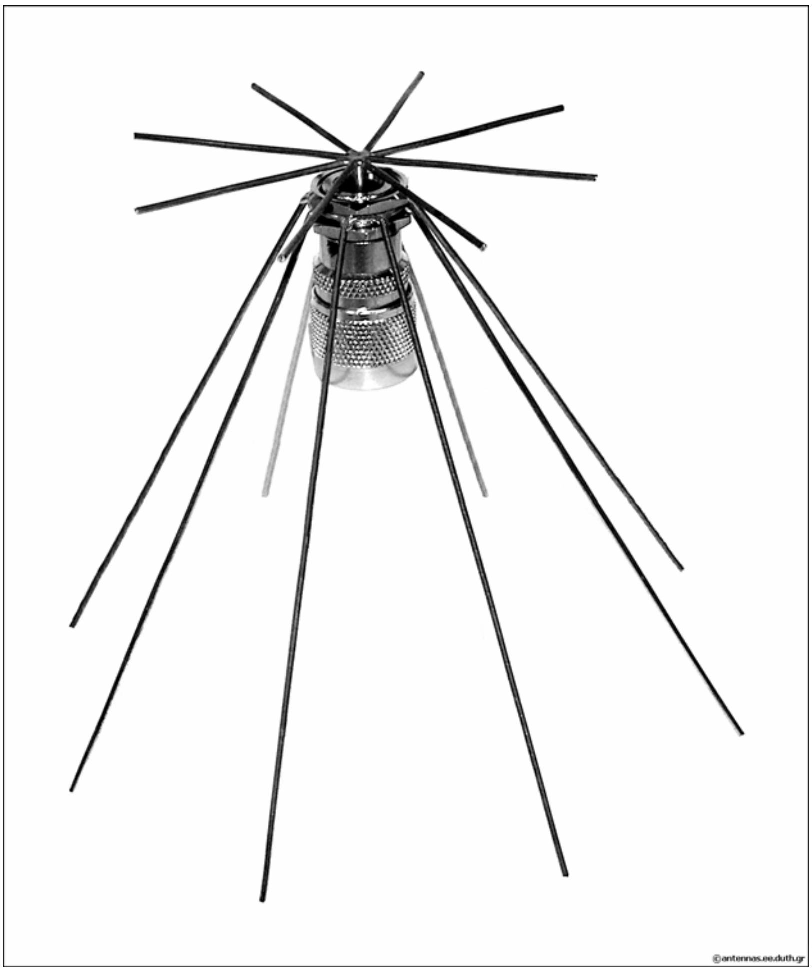
Ο Πίνακας 6.3.1 περιλαμβάνει το διάστημα τιμών της κατευθυντικότητας του σχεδόν κυκλικού διαγράμματος ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο, στις έξι υποζώνες I-VI της ευρείας ζώνης συχνοτήτων [800, 2500] MHz, όπως ορίστηκαν στην παράγραφο 5.1.

Ο Πίνακας 6.3.2 περιλαμβάνει το σύνολο των χαρακτηριστικών της πρωτότυπης Skeleton Discone κεραίας.

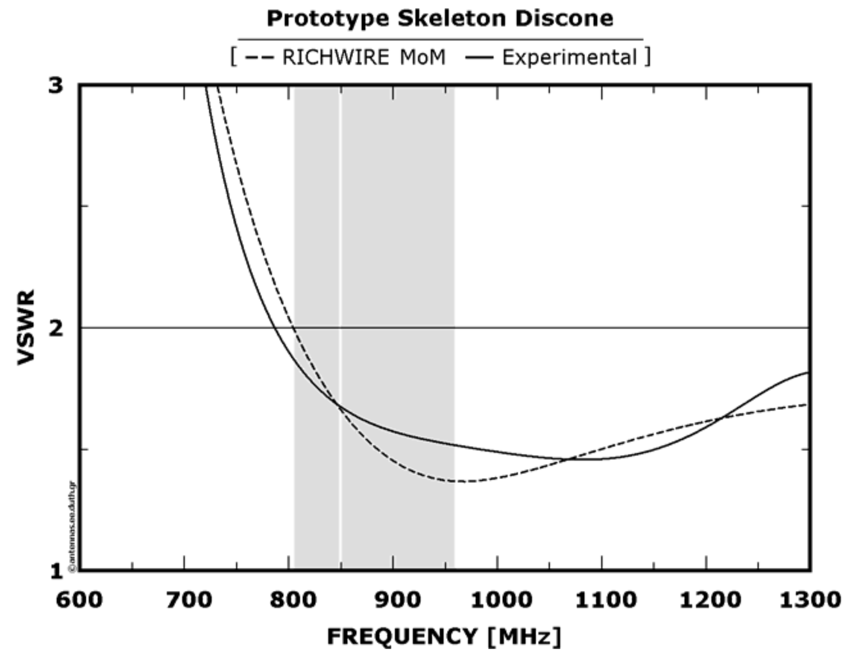
Τέλος στο Σχήμα 6.3.24 φαίνεται το τριδιάστατο διάγραμμα της σχετικής έντασης ακτινοβολίας, μαζί με τα μερικά διαγράμματα ακτινοβολίας (τομές) στα τρία κύρια επίπεδα [89], για την κεντρική συχνότητα της ζώνης συχνοτήτων [800, 1300] MHz. Οι τελείες αντιστοιχούν στα αποτελέσματα των μετρήσεων και οι συνεχείς καμπύλες στα αποτελέσματα της προσομοίωσης [104], [105].



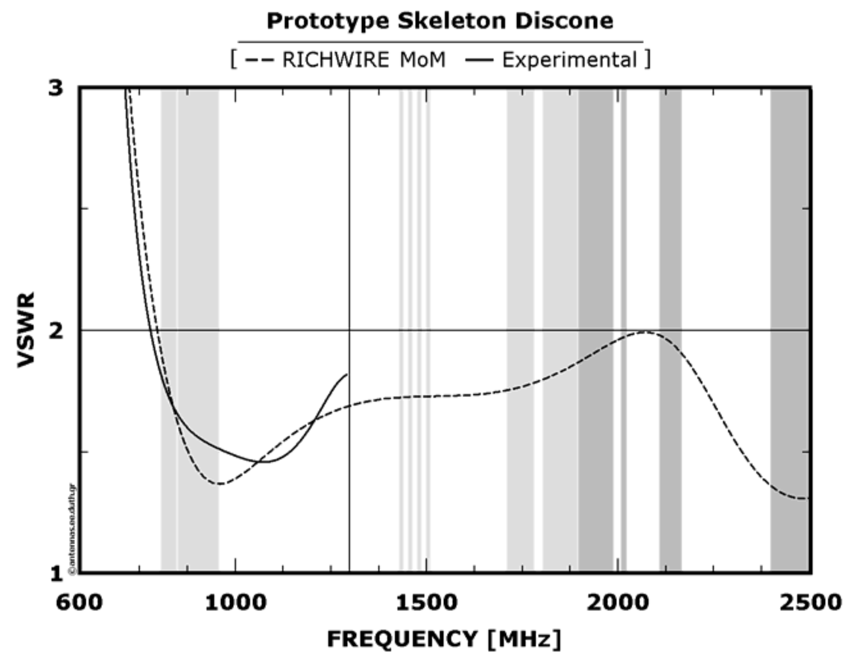
Σχήμα 6.3.1: Γεωμετρία της Πρωτότυπης Skeleton Discone κεραίας.



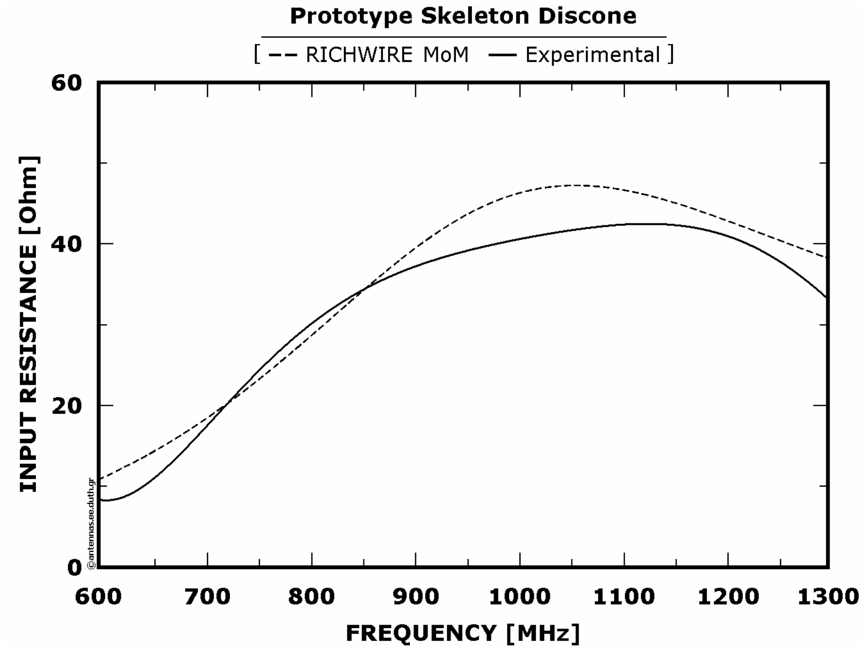
Σχήμα 6.3.2: Η κατασκευασμένη πρωτότυπη Skeleton Discone κεραία.



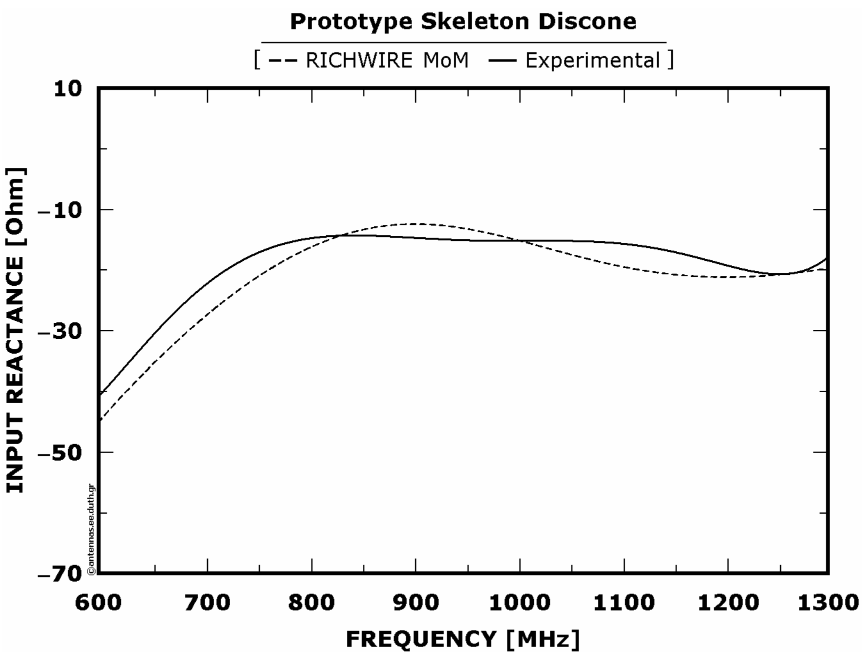
<u>Σχήμα 6.3.3</u>: Λόγος Στασίμων Κυμάτων της Πρωτότυπης Skeleton Discone.



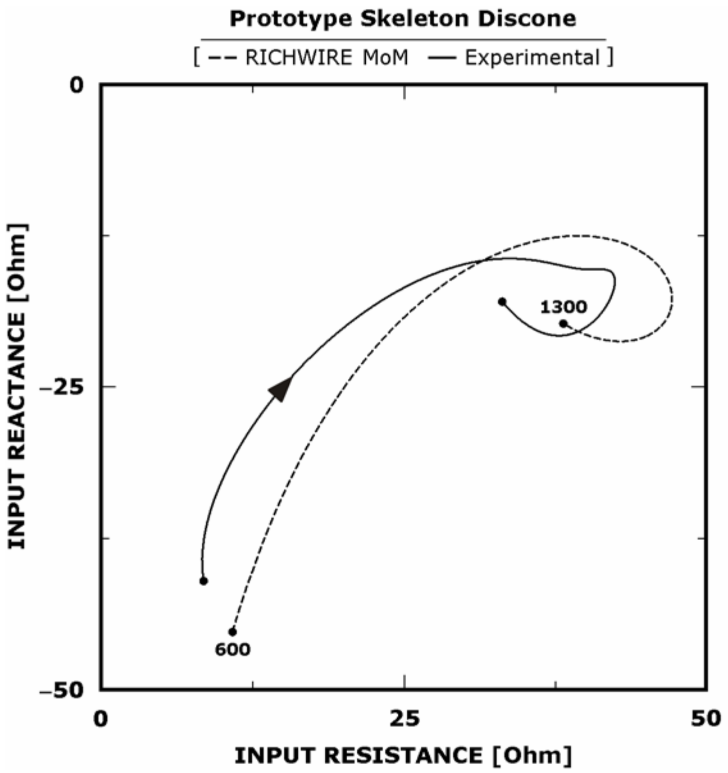
<u>Σχήμα 6.3.4</u>: Λόγος Στασίμων Κυμάτων της Πρωτότυπης Skeleton Discone.



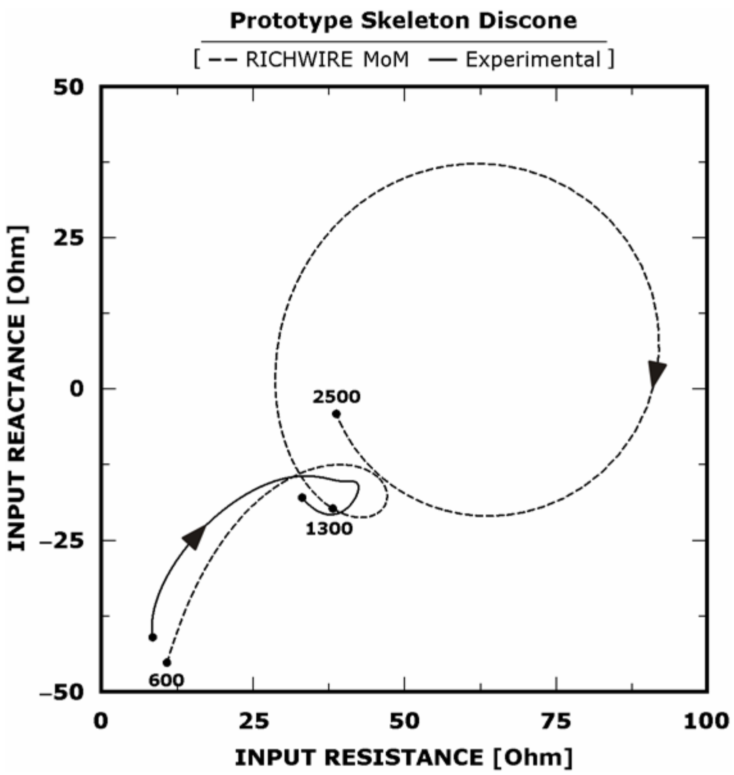
Σχήμα 6.3.5: Πραγματικό μέρος της σύνθετης αντίστασης εισόδου.



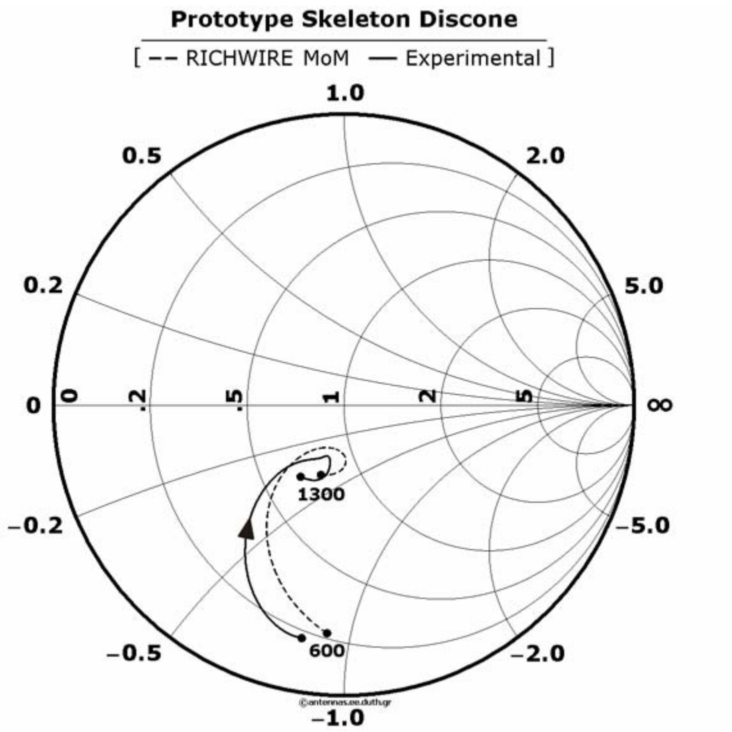
Σχήμα 6.3.6: Φανταστικό μέρος της σύνθετης αντίστασης εισόδου.



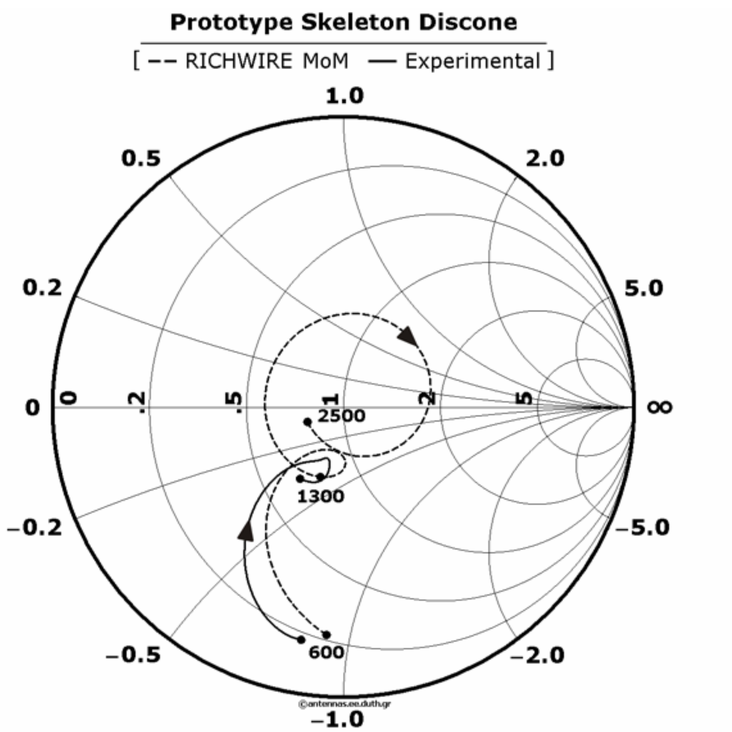
Σχήμα 6.3.7: Σύνθετη αντίσταση εισόδου της Πρωτότυπης Skeleton Discone.



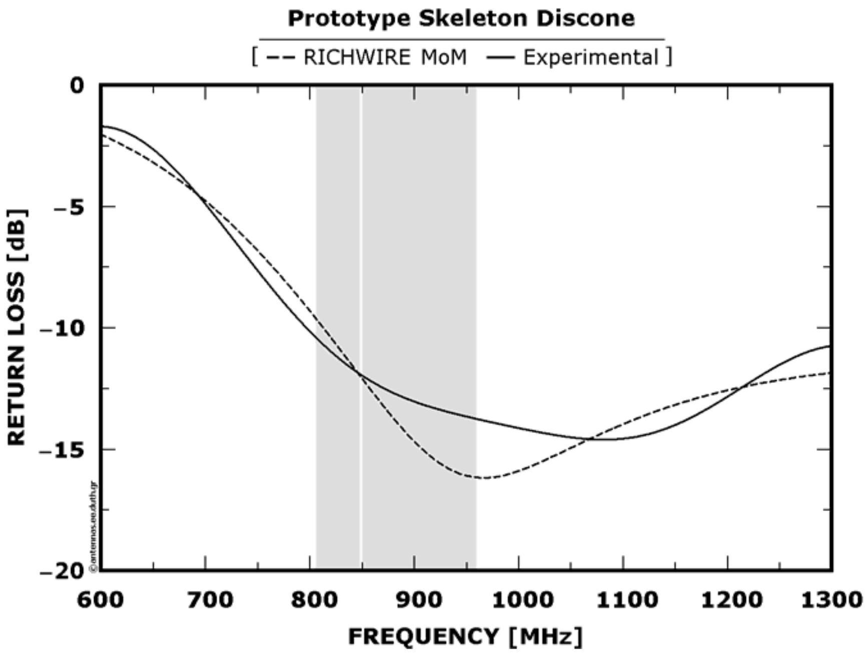
Σχήμα 6.3.8: Σύνθετη αντίσταση εισόδου της Πρωτότυπης Skeleton Discone.



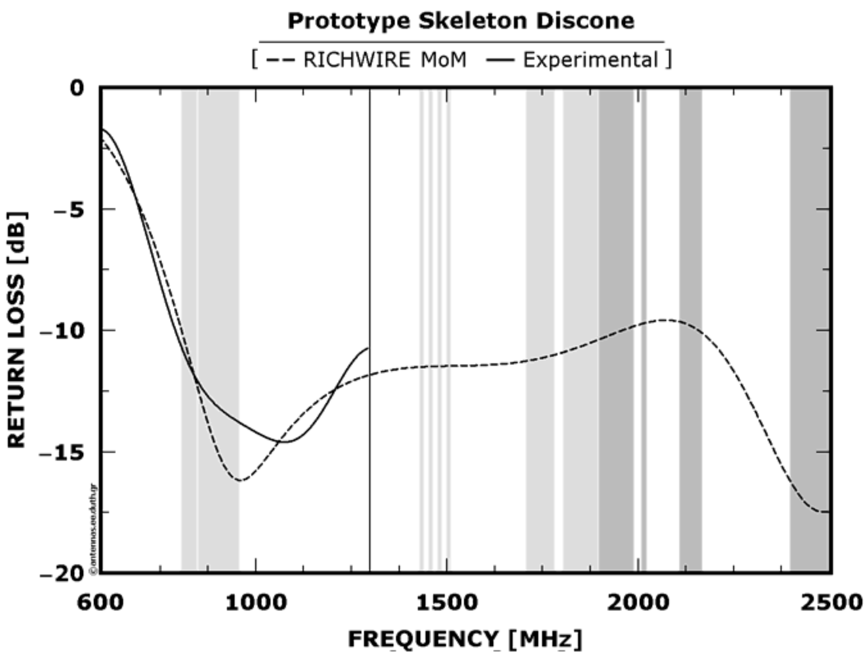
Σχήμα 6.3.9: Συντελεστής ανάκλασης της Πρωτότυπης Skeleton Discone.



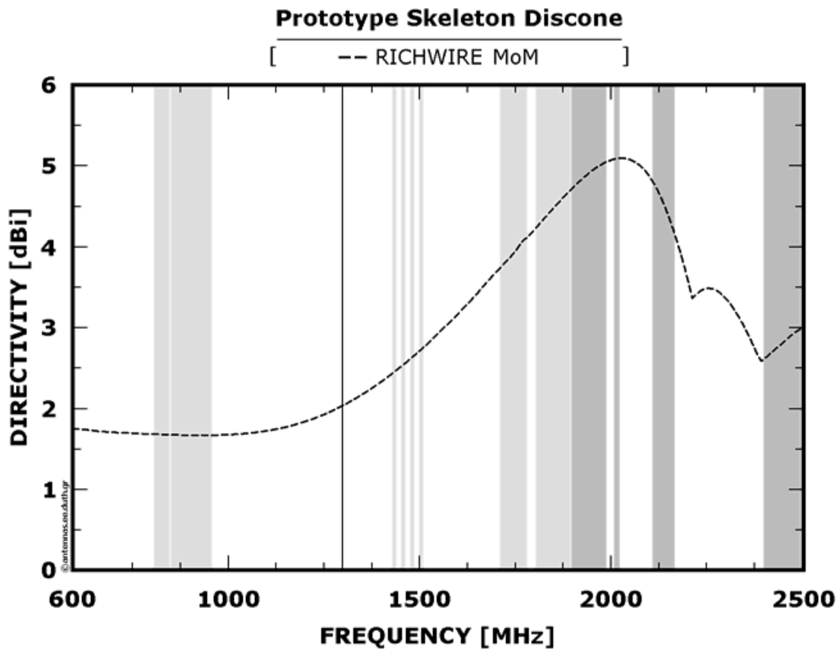
Σχήμα 6.3.10: Συντελεστής ανάκλασης της Πρωτότυπης Skeleton Discone.



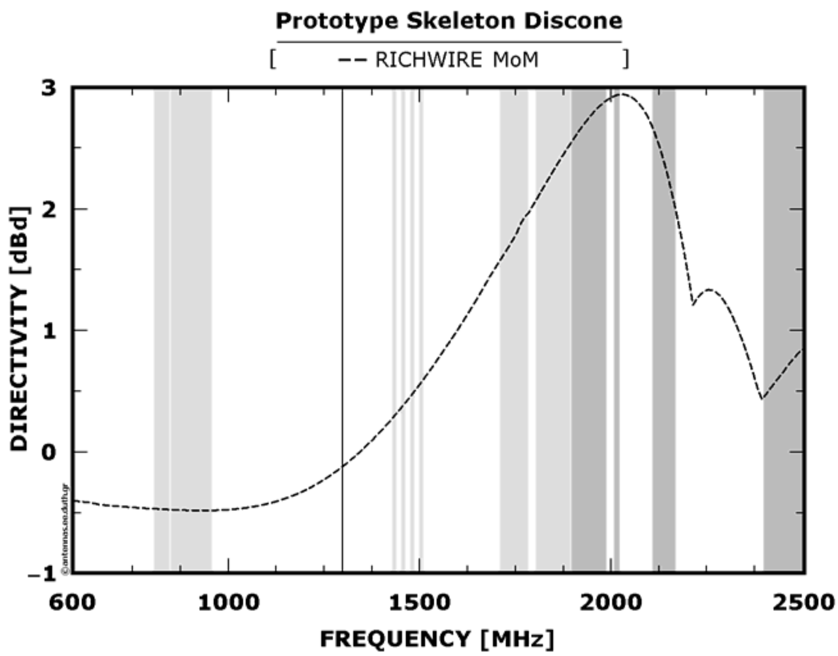
Σχήμα 6.3.11: Απώλεια Επιστροφής της Πρωτότυπης Skeleton Discone.



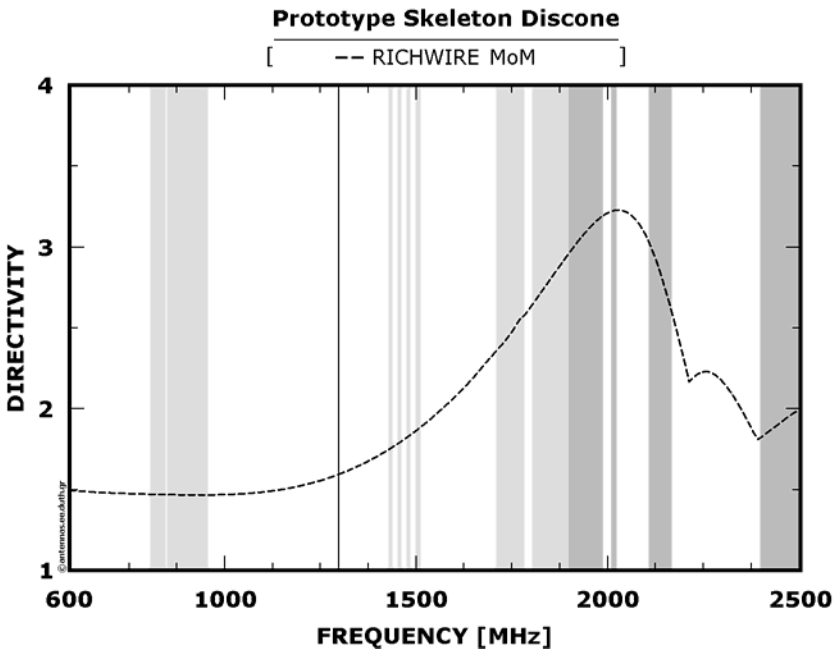
Σχήμα 6.3.12: Απώλεια Επιστροφής της Πρωτότυπης Skeleton Discone.



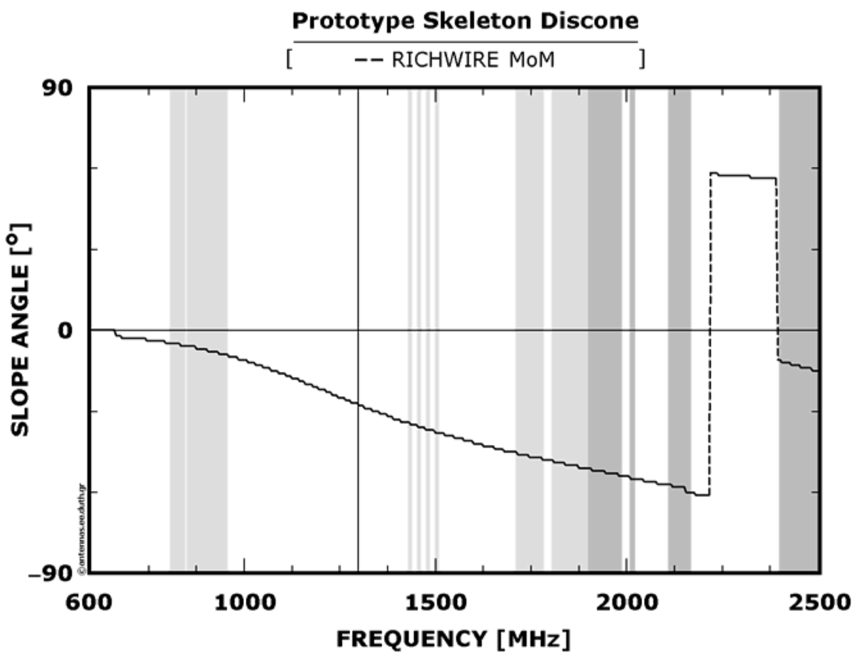
Σχήμα 6.3.13: Κατευθυντικότητα της Πρωτότυπης Skeleton Discone.



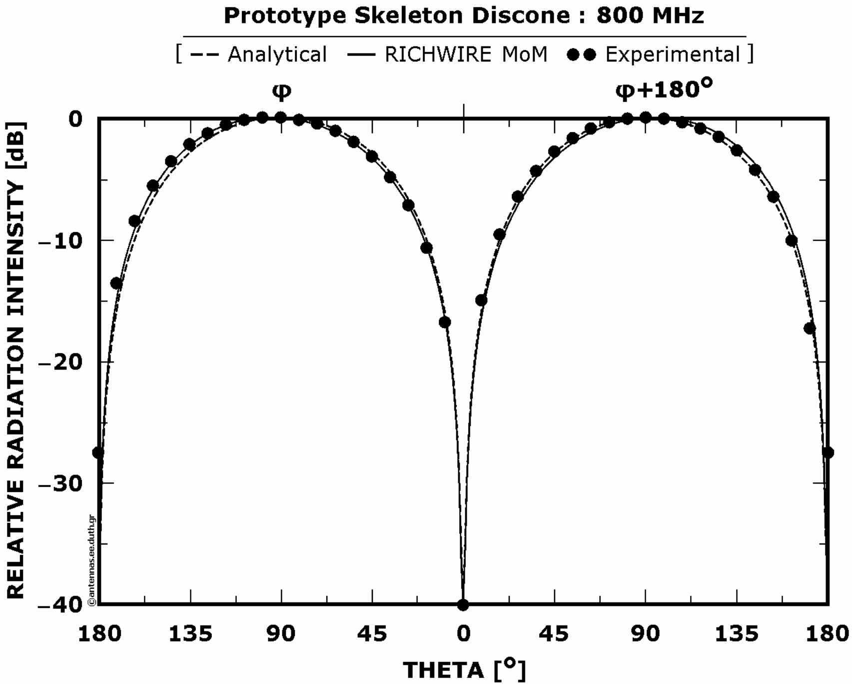
Σχήμα 6.3.14: Κατευθυντικότητα της Πρωτότυπης Skeleton Discone.

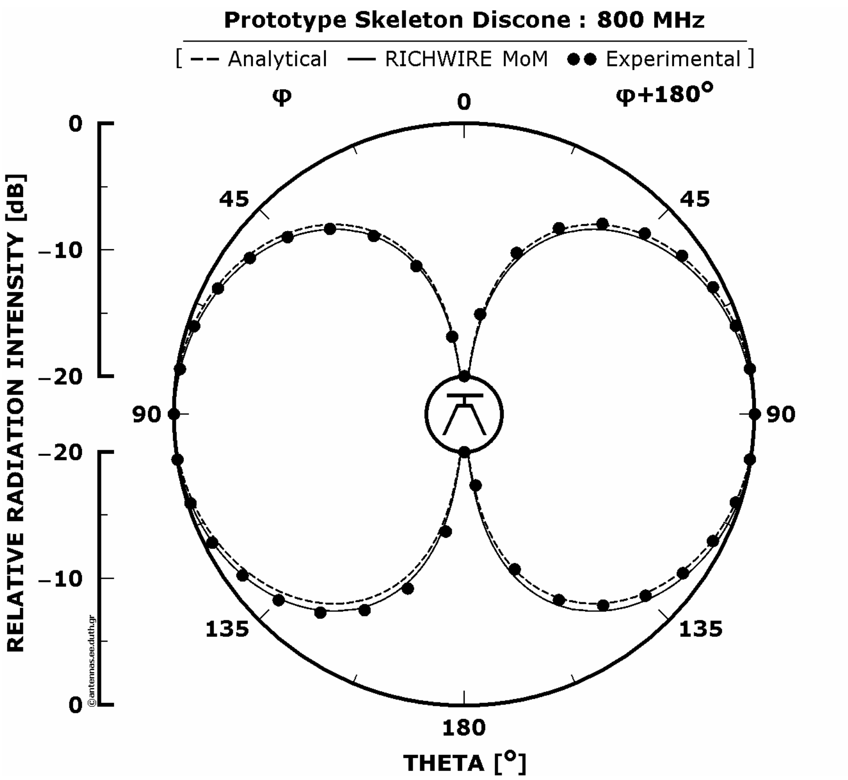


<u>Σχήμα 6.3.15</u>: Κατευθυντικότητα της Πρωτότυπης Skeleton Discone.

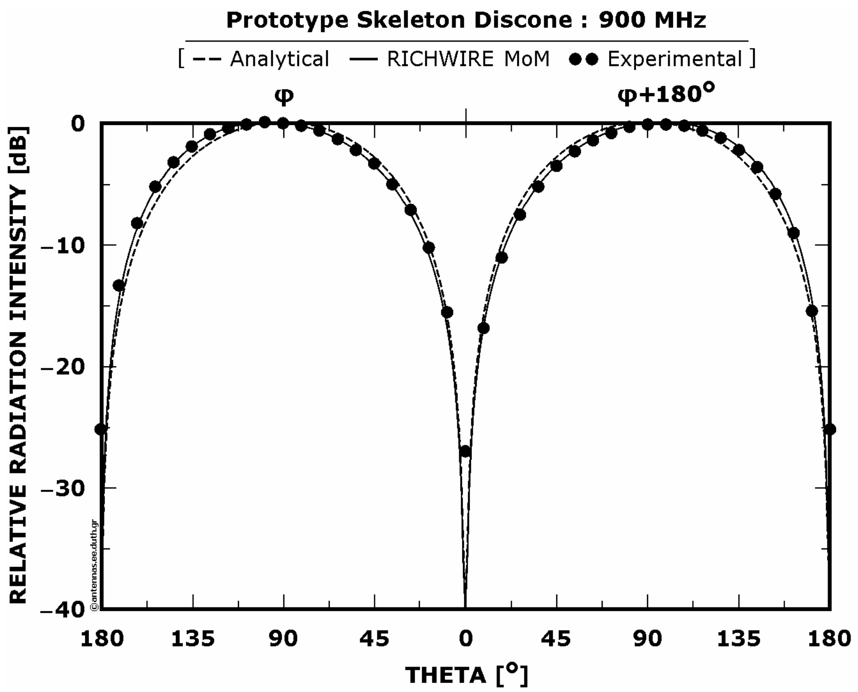


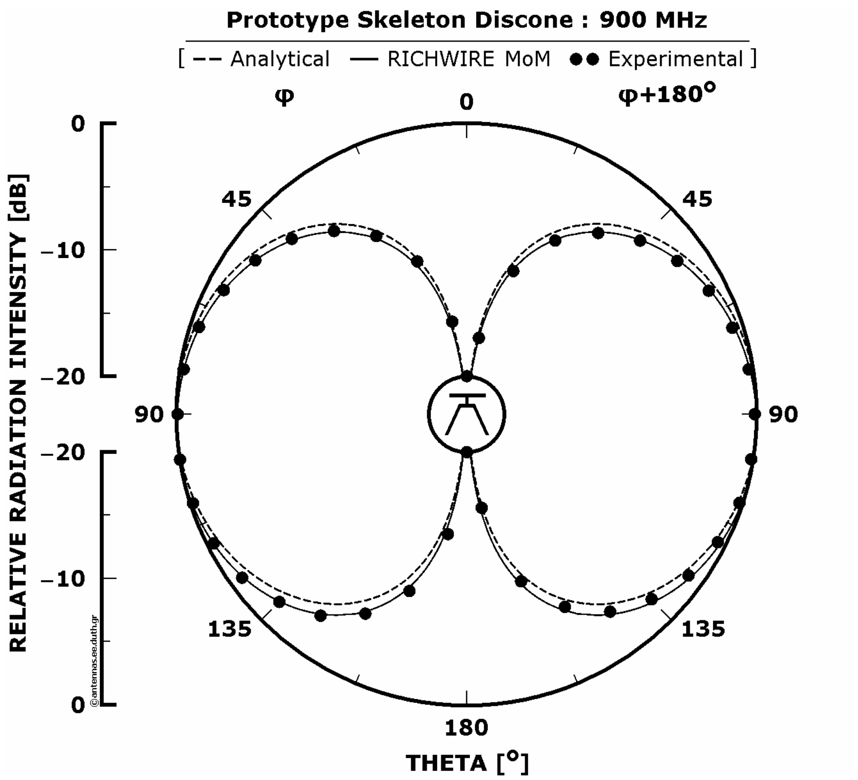
<u>Σχήμα 6.3.16</u>: Γωνία κλίσης της κατεύθυνσης του μεγίστου ως προς το οριζόντιο επίπεδο.



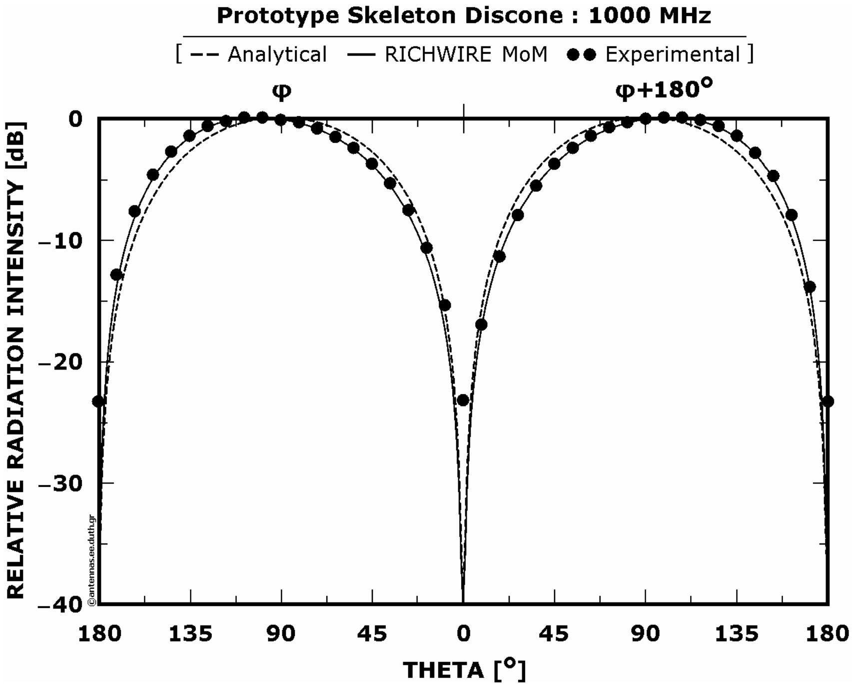


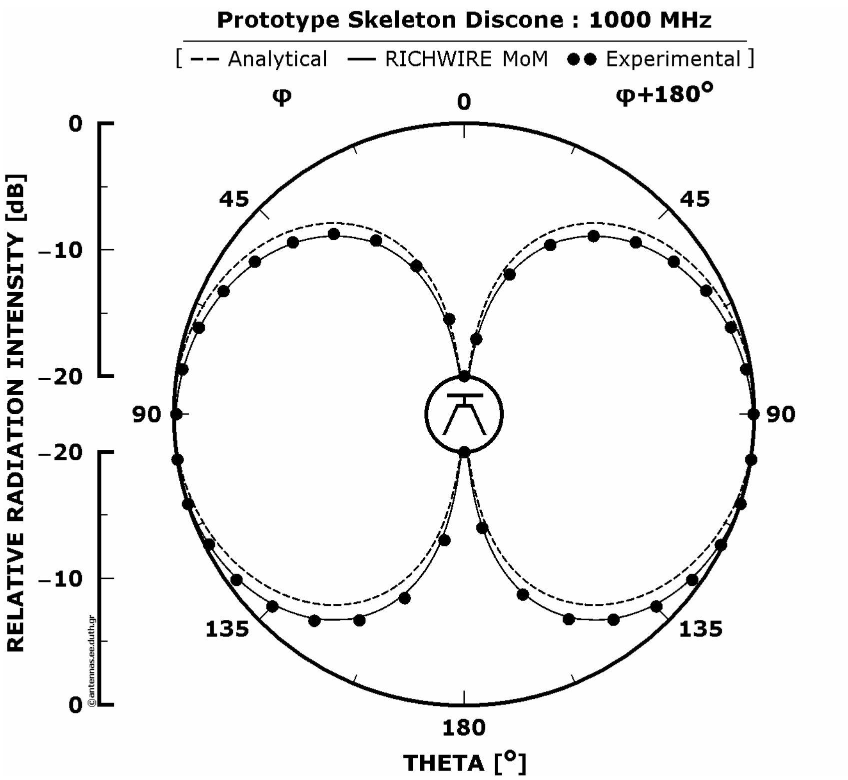
Σχήμα 6.3.17: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



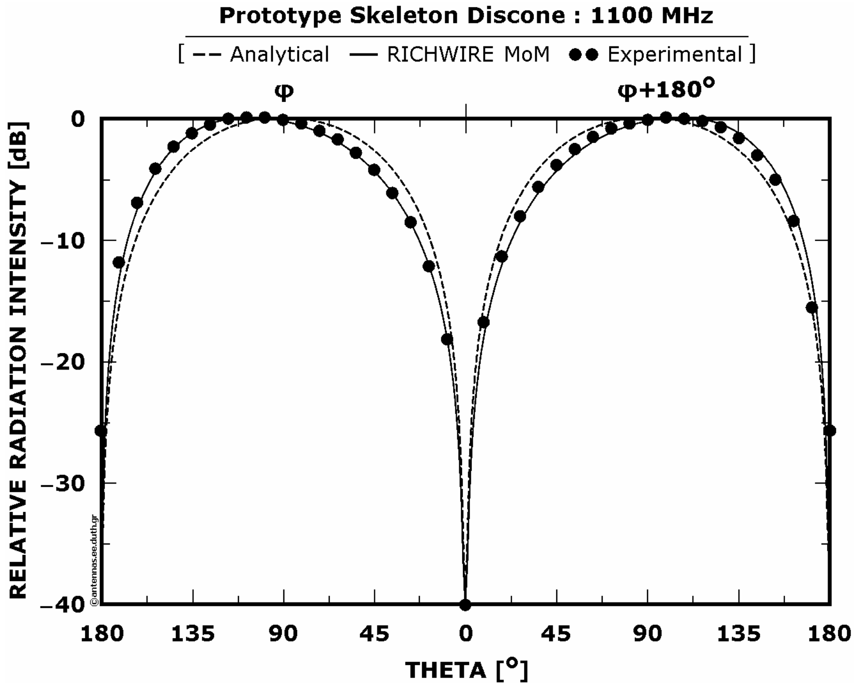


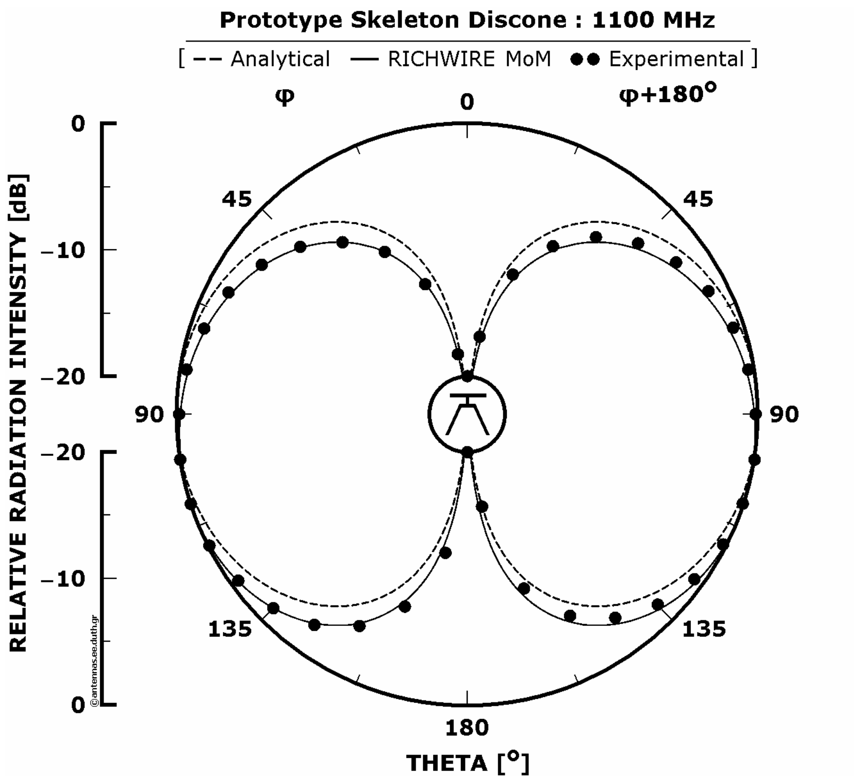
Σχήμα 6.3.18: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



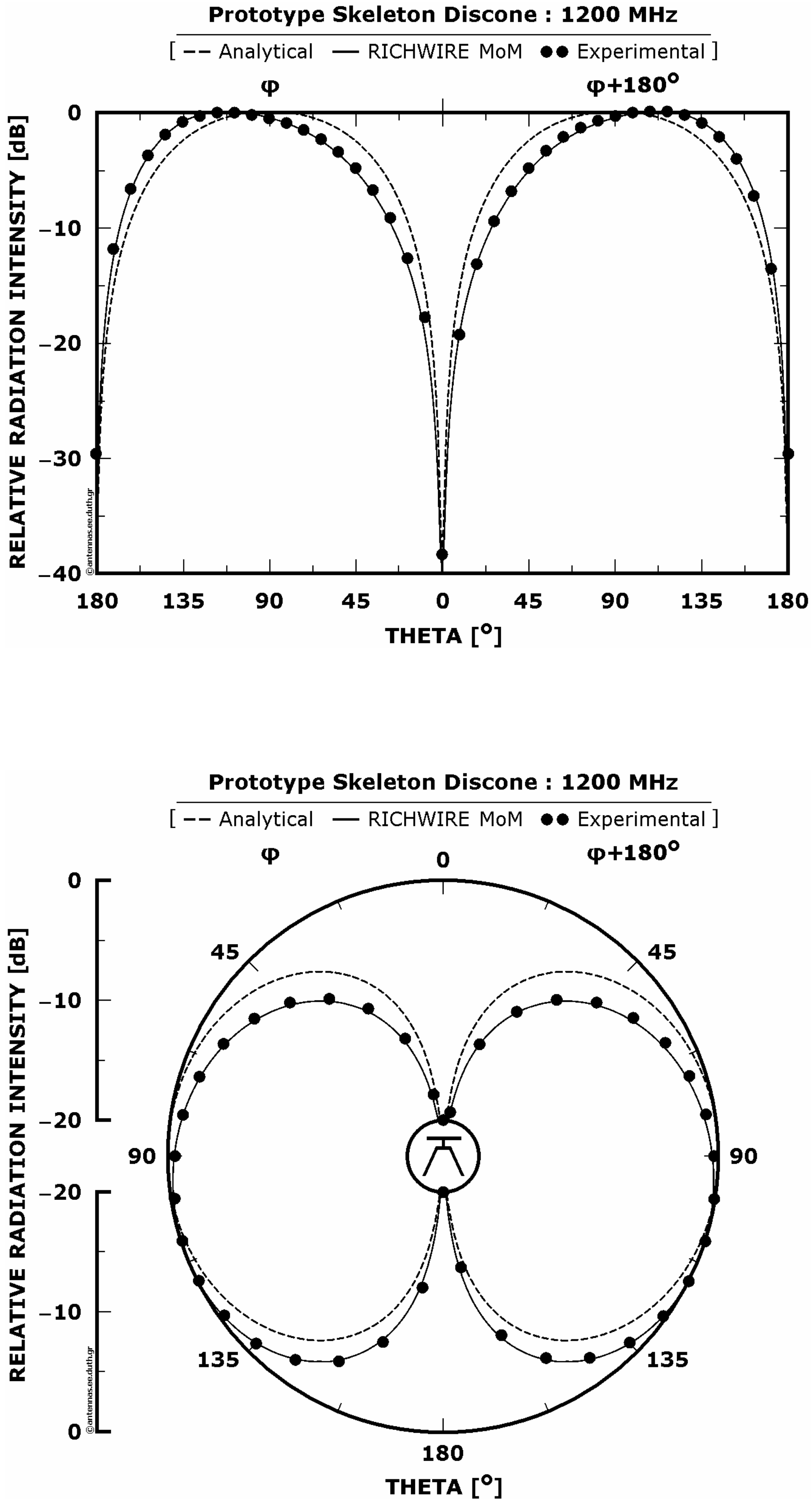


Σχήμα 6.3.19: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.

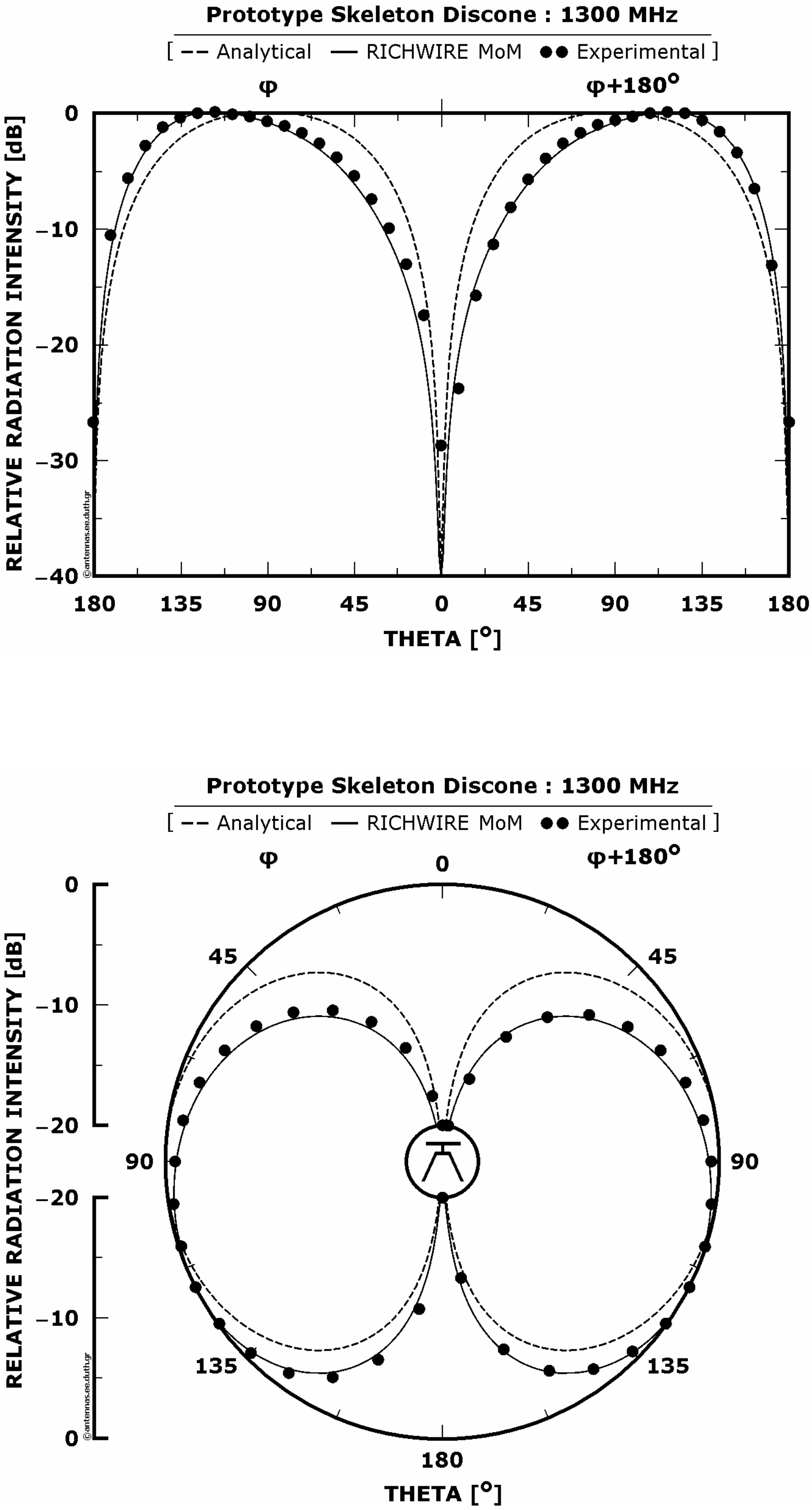




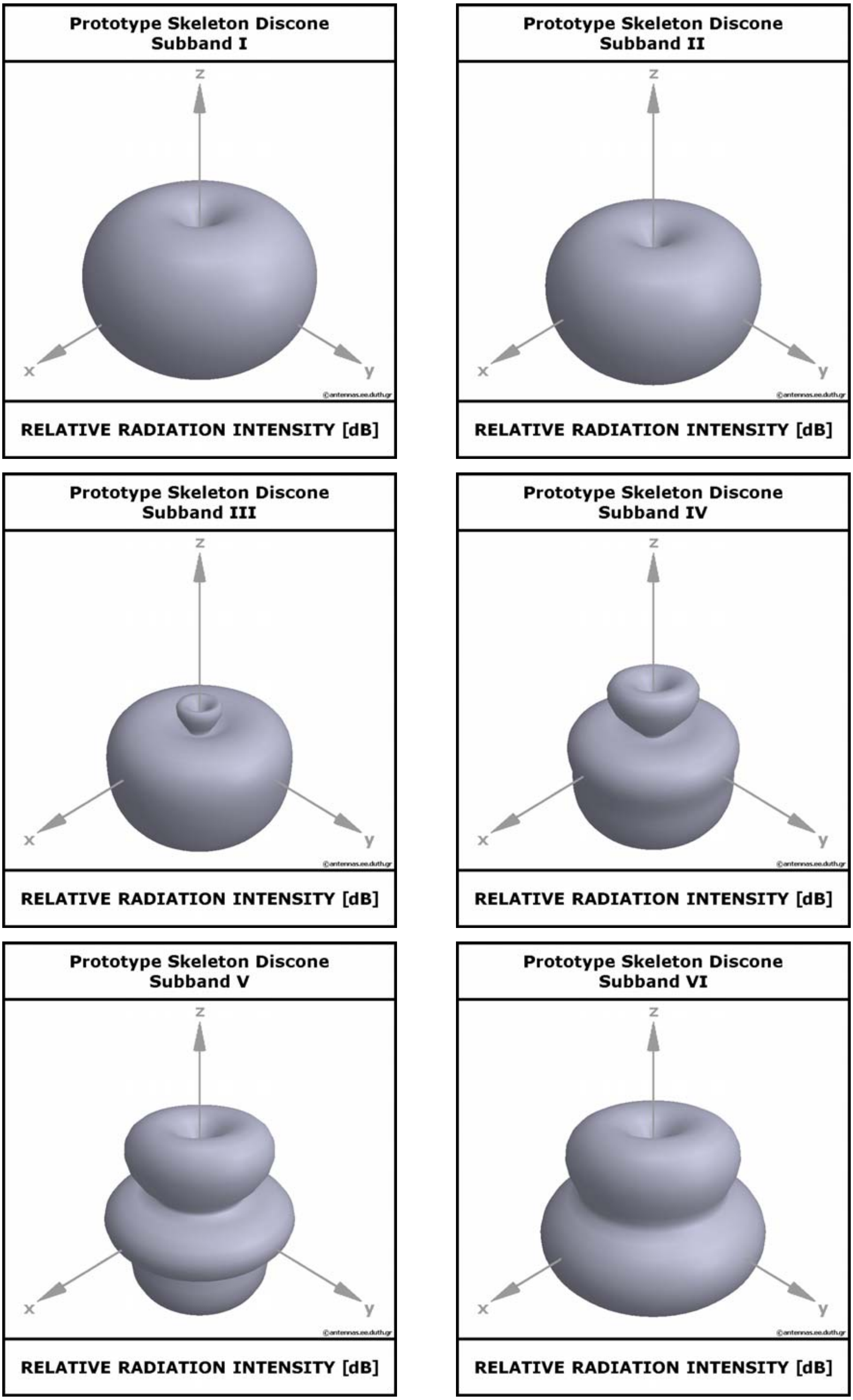
Σχήμα 6.3.20: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



Σχήμα 6.3.21: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



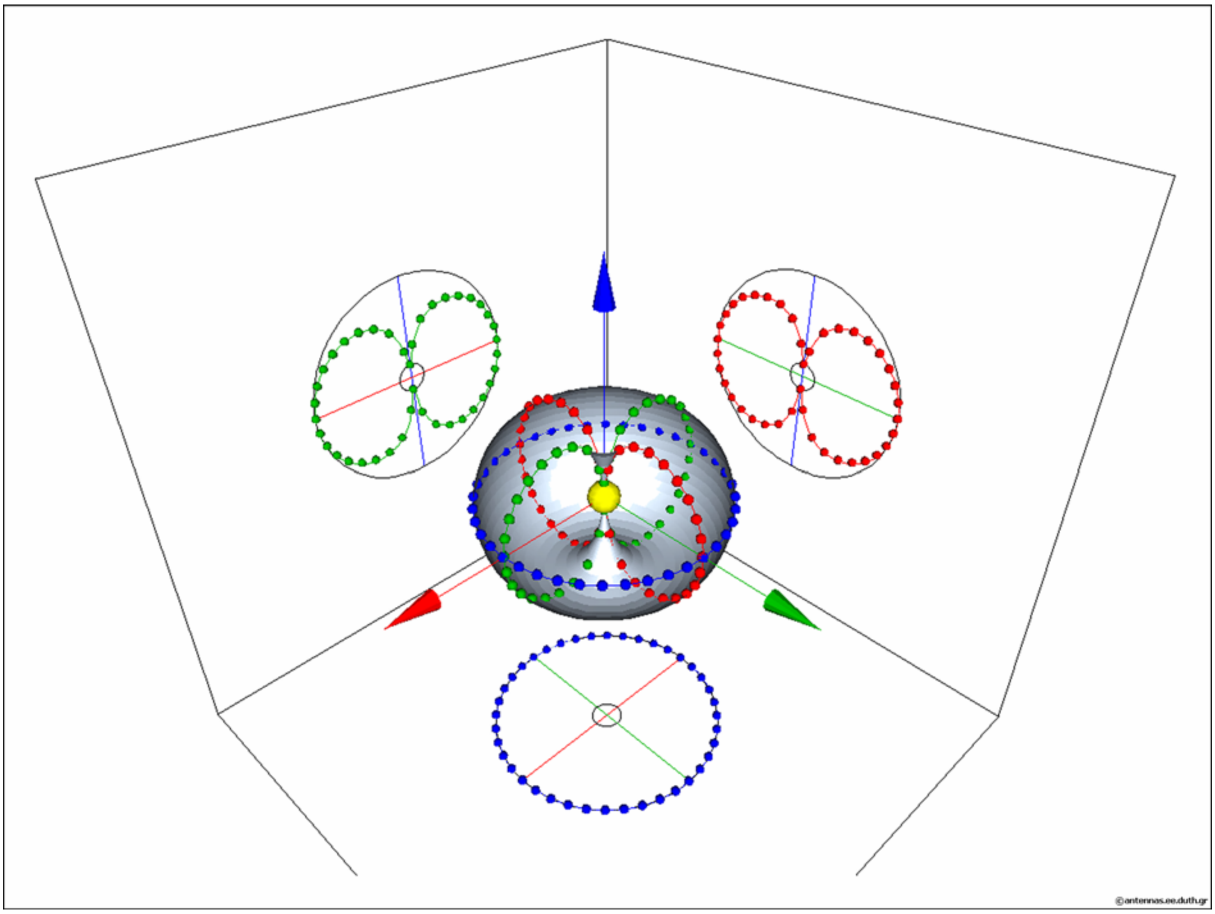
<u>Σχήμα 6.3.22</u>: Σχετική ένταση ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο.



Σχήμα 6.3.23: Σχετική ένταση ακτινοβολίας στην κεντρική συχνότητα κάθε υποζώνης.

Πίνακας 6.3.1: Ελάχιστη και Μέγιστη κατευθυντικότητα στο οριζόντιο επίπεδο.

Υποζώνη	Περιοχή Συχνοτήτων [MHz]	D [dBi]
I	[806, 960]	[1.57, 1.67]
II	[1429, 1513]	[0.67, 0.90]
III	[1710, 1910]	[−0.89, 0.01]
IV	[1900, 2025]	[−0.97, −0.85]
V	[2110, 2170]	[−0.16, 0.56]
VI	[2400, 2499]	[1.32, 1.61]



Σχήμα 6.3.24: Ένταση ακτινοβολίας στην κεντρική συχνότητα της ζώνης των μετρήσεων.

Πίνακας 6.3.2: Πρωτότυπη Skeleton Discone.

Τα Γεωμετρικά Χαρακτηριστικά				
Αριθμός ακτίνων δίσκου			8	
Αριθμός ακτίνων κώνου			8	
Διάμετρος δίσκου		D	8.8	[cm]
Απόσταση δίσκου-κώνου		s	0.6	[cm]
Απόστημα κώνου		L	12.5	[cm]
Γωνία κώνου		α	60	[°]
Η Περιοχή Συχνοτήτων				
Προσομοίωση		f	[600, 2500]	[MHz]
Μέτρηση αντίστασης εισόδου			[600, 1300]	
Μέτρηση διαγράμματος ακτινοβολίας			[800, 1300]	
Θεωρητικοί υπολογισμοί				
Τα Ποσοτικά Κριτήρια				
$2 \geq$ VSWR		≤ 1.99	[800, 2500]	[MHz]
Στο οριζόντιο επίπεδο	$0 = U / U_{max}$	$\cong 0\,dB$		
	$-3dB \leq U^{min} / U^{max}$	$\geq -2.64\,dB$		
	D	$[-0.97,\ 1.67]$ dBi		
Τα Λοιπά Χαρακτηριστικά				
Απόδοση		E	99.99	[%]
Μέγιστη Κατευθυντικότητα		D	[1.47, 3.22]	
			[1.67, 5.08]	[dBi]
			$[-0.48,\ 2.93]$	[dBd]
Γωνία κλίσης μεγίστου			$[-61,\ 58]$	[°]
Πόλωση σχεδόν θ-Ευθύγραμμη		Σχεδόν κατακόρυφη στο οριζόντιο επίπεδο		

6.4 : Συμπεράσματα.

Από τη μελέτη των 20 μοντέλων κεραιών Skeleton Discone καταλήξαμε στα ακόλουθα συμπεράσματα:

1. Ο ισχυρισμός του Nail J.J. το 1953 [25], που δεν φαίνεται να είχε ελεγχθεί τουλάχιστον μέχρι το 1975 [29], σύμφωνα με τον οποίο "κεραίες Discone με γωνίες κώνου μεγαλύτερες από 90° θα έχουν καλύτερη απόδοση στο οριζόντιο επίπεδο για μεγάλες ζώνες συχνοτήτων από ότι αυτές με μικρότερες γωνίες κώνου" αποδεικνύεται εδώ να μην ισχύει οπωσδήποτε για κεραίες Skeleton Discone. Έτσι, για παράδειγμα, οι κεραίες Skeleton Discone με γωνία κώνου 150° και 30° στην παράγραφο 4.6, εμφανίζουν μεν και οι δύο χαμηλό λόγο στασίμων κυμάτων αλλά σε σαφώς μικρότερη περιοχή συχνοτήτων και το πλέον ουσιαστικό, το διάγραμμα ακτινοβολίας τους στο οριζόντιο επίπεδο είναι σχεδόν μηδενικό για σημαντικά μεγάλες υποζώνες, όπως γίνονται φανερό από τη μελέτη των Σχημάτων 3.6.13-3.6.20.
2. Αντίσταση εισόδου: Η συμφωνία των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης και των πειραματικών μετρήσεων, για όλα τα μοντέλα κεραιών, είναι πολύ καλή.
3. Διάγραμμα ακτινοβολίας: Η συμφωνία μεταξύ των υπολογισμών από τη θεωρητική μελέτη και των υπολογισμών από την προσομοίωση, για όλα τα μοντέλα κεραιών, είναι πολύ καλή ενώ η συμφωνία των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης και των πειραματικών μετρήσεων, για όλα τα μοντέλα κεραιών, είναι σχεδόν απόλυτη.

Συμπερασματικά κρίνεται ότι κατέστη δυνατή η ανάπτυξη μιας πρωτότυπης κεραίας η οποία, εκτός από την προφανή -λόγω σχήματος- αδυναμία χρησιμοποίησής της στους κινητους σταθμούς χειρός ("κινητά τηλέφωνα"), είναι απολύτως κατάλληλη για την εξυπηρέτηση κάθε άλλης εφαρμογής συστημάτων κινητής τηλεφωνίας τρίτης και δεύτερης γενεάς. Η αξιολόγηση αυτή στηρίζεται στη σύγκριση των χαρακτηριστικών της που περιέχονται στον Πίνακα 6.3.2 τόσο με εκείνα των κεραιών της βιβλιογραφίας, που παρατίθενται στην παράγραφο 1.3, όσο και με εκείνα των κεραιών του οδηγού αγοράς, που παρατίθεται στο Παράρτημα.

Παράρτημα : Οδηγός αγοράς κεραίας Discone.

Μια αναζήτηση στο διαδίκτυο για αγορά κεραίας Discone μας οδήγησε στην σύνταξη του παρακάτω Πίνακα. Για όλες τις κεραίες η πόλωση είναι κατακόρυφη και η αντίσταση εισόδου θεωρείται 50Ω. Επίσης όλες οι κεραίες είναι Skeleton Discones εκτός της κεραίας 4.

Πίνακας: Εμπορικές Κεραίες Discone.

	Μοντέλο	Frequency Range [MHz]	Gain	VSWR	Τιμή	Χαρακτηριστικά
1	5007	90-1200	1.8dBi	2:1	N/A	Χρησιμοποιούν συνδετήρα τύπου N-θηλυκό και δουλεύουν με ισχύ μέχρι 500Watt, [106].
2	5002	100-1200	1.8dBi	1.8:1	N/A	
3	5009	100-3000	1.8dBi	2:1	N/A	
4	5097	800-3000	1.8dBi	1.5:1	N/A	Είναι κατάλληλη για όλες τις ζώνες κινητής τηλεφωνίας (PCS). Χρησιμοποιεί συνδετήρα τύπου N-θηλυκό με ισχύ μέχρι 500Watt, [106].
5	Sirio SD1300	25-1300	0dBd	1.3:1	149$ CA	Λειτουργεί όχι μόνο ως λήψης αλλά και ως εκπομπής στις συχνότητες 50MHz, 144MHz, 430MHz, 900MHz και 1200MHz με μέγιστη ισχύ 200Watts και πολύ χαμηλό VSWR. Η κεντρική συχνότητα των 6 μέτρων (150MHz) μπορεί να αυξηθεί με ρύθμιση του μαστιγίου. Χρησιμοποιεί UHF θηλυκό συνδετήρα, [107].
6	AOR DA3000	30-2000	-	-	129$	Είναι κατάλληλη για όλους τους VHF/UHF σαρωτές και για πομπούς μέχρι 100Watt. Είναι κεραία 16 στοιχείων με BNC και F συνδετήρες, [108].
7	Broadband Discone Antenna Kit	450-2500	-	-	39.95$	Είναι σχεδιασμένη για ευρείας ζώνης UHF και χαμηλά μικροκυματικά σήματα όπως εκείνα των πρόσφατων ασύρματων συσκευών επικοινωνίας. Διατίθεται

						συναρμολογημένη αλλά και σε kit, με ή χωρίς προενισχυτή, [109].
8	Diamond Wideband Discone D130J	25-1000	-	-	99.95$	Χρησιμοποιείται ως κεραία εκπομπής στις ερασιτεχνικές ζώνες συχνοτήτων των 50MHz, 144MHz, 220MHz, 432MHz, 900MHz και 1200MHz με μέγιστη ισχύ 200Watt και πολύ χαμηλό VSWR αλλά και ως λήψης για συνεχή κάλυψη από 25MHz έως 1000MHz και άνω. Αποτελείται από 16 ακτίνες από ανοξείδωτο ατσάλι και φέρει κατακόρυφο στοιχείο για την χαμηλή ζώνη των 30-50MHz, [110].
9	ICOM AH-7000	25-1300	-	-	149.95$	Χρησιμοποιείται ως εκπομπής στις ερασιτεχνικές ζώνες συχνοτήτων με ισχύ έως 100Watt αλλά και ως λήψης σε όλο το εύρος. Χρησιμοποιεί συνδετήρα τύπου N-αρσενικό, [111].
10	Double Discone	25-1300	-	-	119.95$	Υπόσχεται ότι εξασφαλίζει μεγαλύτερο κέρδος από μία τυπική discone. Λειτουργεί ως λήψης σε όλο το εύρος και ως εκπομπής με χαμηλό VSWR στις περιοχές συχνοτήτων 130-175MHz και 410-475MHz. Χρησιμοποιεί συνδετήρα PL-259, [112].
11	Scanmaster Double Discone DD1300	25-1300	2.8dB/ discone	-	N/A	Είναι μια Double Discone 16 στοιχείων, με συνδετήρα τύπου N, και χρησιμοποιείται τόσο ως λήψης όσο και ως εκπομπής στις ζώνες 130-175MHz και 410-475MHz, με πολύ καλή προσαρμογή στα 50Ω, [113].
12	02675 60-1000	85-250	0.0dBd	3.0:1	N/A	Προορίζονται για ραδιο-λήψη μόνο σε όλες τις εμπορικές ζώνες συχνοτήτων και χρησιμοποιούν συνδετήρα τύπου N-θηλυκό, με τη 13 να υπόσχεται
		450-800	16.0dBd	3.5:1		

						καλύτερο VSWR και διάγραμμα ακτινοβολίας από τη 12, [94], [114].
		890-960	11.0dBd	2.0:1		
13	02676 60-1000	80-370	0.0dBd	2.0:1	N/A	Προορίζονται για ραδιο-λήψη μόνο σε όλες τις εμπορικές ζώνες συχνοτήτων και χρησιμοποιούν συνδετήρα τύπου Ν-θηλυκό, με τη 13 να υπόσχεται καλύτερο VSWR και διάγραμμα ακτινοβολίας από τη 12, [94], [114].
		370-430	-3.0dBd	4.0:1		
		430-650	10.0dBd	2.7:1		
		650-960	-9.0dBd	3.1:1		
		890-1000	-9.0dBd	2.0:1		

Βιβλιογραφία

-,
"Wireless Jargon: A Comprehensive Glossary of Terms Related to Wireless Communications",
http://www.wirelessledger.com/glossary.htm.

[2] -,
"3G and UMTS Frequently Asked Questions",
http://www.umtsworld.com/umts/faq.htm.

[3] -,
"Telecoms Technology Glossary",
http://www.itu.int/telecom-wt99/press_service/information_for_the_press/press_kit/backgrounders/technology_glossary.hmtl.

[4] -,
"The Evolution to 3G",
http://www.moteco.se/default.asp?id=42&umenu=29&cmenu=42.

[5] Χρυσομάλλης Μ.Θ.,
"Κινητές Επικοινωνίες",
Εργαστήριο Μικροκυμάτων-ΔΠΘ, Ξάνθη, 2002, σς.4-19.

[6] -,
"Standards and Regulations",
http://www.ou.edu/engineering/emc/standard.html.

[7] -,
"Communications",
http://www.semiconductors.philips.com/markets/communications/glossary/index.html.

[8] -,
"Public Wireless Packet Data Services",
http://www.leapforum.org/published/internetworkMobility/split/node117.html

[9] -,
"Acronyms-Glossary",
http://www.ou.edu/engineering/emc/definitions.html#DCS.

[10] Lough D.L., Blankership T.K., Krisman K.J.,
"A Short Tutorial on Wireless LANs and IEEE 802.11",
http://www.acme-ids.org/~daniela/public/WI-FI/IEEE 802_11 Short Tutorial_files/IEEE 802_11 Short Tutorial.htm.

[11] Tanaka V.,
"IP-Based Transmission on Third Generation Wireless (IMT-2000) and Beyond",
FUJITSU Sci.Tech, J.37, 1, June 2001, pp.50-57.

[12] Taub H., Schilling D.L., Επιμέλεια Κουκουρλής Χ.Σ.,
"Τηλεπικοινωνιακά Συστήματα",
Α.Τζιόλα Ε., Δεύτερη Έκδοση, 1991, σς.704-705, 735-737.

[13] -,
"Mobile and Wireless Communications",
http://www.tele.ntnu.no/radio/newresearch/systems/mobile_telecommunications.htm

[14] European Telecommunications Standards Institute,
"Telecom Standards",
http://www.etsi.org.

[15] -,
"2003 Worldwide Wireless Communication Standards",
http://www.semiconductors.philips.com/acrobat/literature/9397/75010429.pdf.

[16] Department of Defense, IMT-2000 Technical Working Group, Interim Report,
"Investigation of the Technical Feasibility of Accommodating the International Mobile Telecommunications (IMT) 2000 Within the 1755-1850 MHz Band",
http://www.ntia.doc.gov/osmhome/reports/dodreport/DOD_IMT2K.pdf.

[17] Li R.L., Tentzeris E.M., Laskar J., Fusco V.F., Cahill R.,
"Broadband Loop Antenna for DCS-1800/IMT-100 Mobile Phone Handsets",
IEEE Microwave and Wireless Components Letters, Vol.12, No.8, August 2002, pp.305-307.

[18] Moon Jung-Ick, Park Seong-Ook, Park Ke-Young,
"Broadband sleeve monopole type antennas for dual band PCS/IMT-2000",
Electronics Letters, Vol.36, No.22, 26 October 2000, pp.1829-1830.

[19] -,
"Repeater Application Notes Support from the EMS Professionals",
http://www.emswireless.com/english/content/repeater_app_notes.asp

[20] Ali M., Hayes G.J., Hwang H-S., Sadler R.A.,
"Design of a Multiband Internal Antenna for Third Generation Mobile Phone Hand-

sets”,
IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol.51, No.7, July 2003, pp.1451-1461.

[21] Racal Antennas LTD,
“Racal Antennas”,
http://www.racalantennas.com/3-1-BaseStation.htm.

[22] Σάχαλος Ι.Ν.,
“Κεραίες”,
Αϊβαζής Ζουμπούλης, 1986, σς.233-235

[23] Γκότοβου Δ.,
"Μελέτη και Πιστοποίηση της κεραίας Skeleton Discone”,
Κεραίες-ΔΠΘ,
Διπλωματική Εργασία #23, Ξάνθη 1999,
http://www.antennas.duth.gr/theses/diploma/enu/diplomatheses_1.htm.

[24] Kandoian A.G.,
“Three New Antenna Types and Their Applications”,
Proceedings of IRE Vo.34, February 1946, pp.70W-75W.

[25] Nail J.J.,
“Designing Discone Antennas”,
Electronics, August 1953, pp.167-169.

[26] Rappaport T.S.,
“Discone Design Using N-Connector Feed”,
Antenna Application Symposium, Allerton Park, IL September 1987, 12pp.

[27] Rappaport T.S.,
“Discone Design Using N-Connector Feed”,
IEEE Antennas and Propagation Soc. Newsletter, Vol.30, February 1988, pp12-14.

[28] Wintzer M., PA0MWI/DJ4GA,
“Dipole Passe?”,
QST, October 1974, pp.15-18, 21.

[29] Belrose J.S., VE2CV/VE3DRC,
“The HF Discone Antenna”,
QST, July 1975, pp.11-14, 56.

[30] ARRL,
“The ARRL Antenna Book”,
Seventeenth edition, 1996, Ch.7 pp.17-20.

[31] Gelser D., WA2ANU,
"An Inexpensive Multiband VHF Antenna",
QST, December 1978.

[32] Gelser D., WA2ANU,
"More on Discone Antennas",
QST, May 1979, p.44.

[33] Pez, SV7BAX,
"Re: Matching antenna and air space impedance? – A Counter Example",
Newsgroup rec.radio.amateur.antenna.

[34] Miller D., NZ9E,
"A "Universal" VHF/UHF Antenna",
QST, December 1994, p.75.

[35] Sheets W., K2MQJ, Graf R.F., KA2CWL,
"A UHF Discone Antenna for Scanners",
http://www.northcountryradio.com/Discone Antenna.htm.

[36] Sheets W. KPMQJ, Graf R.F, KASCWL,
"Discone VHF-UHF Antenna",
Poptronix Electronic Handbook ,1997,
http://web.tiscali.it/no-redirect-tiscali/xiliconix/discone.pdf.

[37] Krupp D.A.,W8NWF,
"Two HF Discone Antennas",
The ARRL Antenna Compendium Vol. 5, First edition, 1996, pp.121-127.

[38] Kamp F., K5DKZ,
"A Discone Antenna Project",
http://www.qsl.net/yo5ofh/projects/discone.txt.

[39] Cooke D.W., WA4RHT,
"The Skeleton Discone",
The ARRL Antenna Compendium Vol. 3, First edition, 1993, pp.140-143.

[40] ARRL,
"The ARRL Antenna Book",
Fifteenth edition, 1988, Ch.9 pp.7-12.

[41] Orr W.I.,
"Radio Handbook",
Horward W. Sams & Company Inc., Twenty second edition, 1981, Ch.27 pp.24-26.

[42] Μάργκα Γ.Κ.,

"Κεραίες",
ΙΩΝ, 1993, pp.179-181.
[43] Jasik H.,
"Antenna Engineering Handbook",
McGraw-Hill, First edition, 1961, pp.3-24.
[44] Johnson R.C.,
"Antenna Engineering Handbook",
McGraw-Hill, Third edition, 1961, pp.27-14.
[45] Burberry R.A,
"VHF and UHF Antennas",
Peter Peregrinus Ltd., 1992, pp.129-137.
[46] Rudge A.W, Milne K., Olver A.D., Knight P.,
"The Handbook of Antenna Design Volume 2",
Peter Peregrinus Ltd.,1983, pp.733-741.
[47] Stutzman W.L., Thiele G.A.,
"Antenna Theory and Design",
John Wiley & Sons, Inc., 1981, pp.271-278.
[48] Stutzman W.L., Thiele G.A.,
"Antenna Theory and Design",
John Wiley & Sons, Inc., Second edition, 1998, pp.240-246.
[49] Fujimoto K., Henderson A., Hirasawa K., James J.R.,
"Small Antennas",
Research Studies Press LTD, 1987, p.26.
[50] Balanis C.A.,
"Antenna Theory Analysis and Design",
Second edition, John Wiley & Sons, Inc., 1997, pp.462,464.
[51] Σάχαλος Ι.Ν,
"Μικροκύματα",
Αϊβαζής Ζουμπούλης, 1990, σ.19.
[52] Markov G.,
"Antennas",
Progress Publishers, 1965, pp.326-327.
[53] Sichak W., Nail J.J.,
"UHF Omnidirectional Antenna Systems for Large Aircraft",
IRE Transactions on Antennas and Propagation, December 1954, pp.6-15.

[54] Haapala P., Eratuuli P., Aikio P., Vainikainen P.,
"Evaluation of Handset Antennas in Different Multipath Environments",
International IEEE Antennas and Propagation Symposium Digest, Vol.36, June 1998, pp.145-148.

[55] Horwitz C.M.,
"Optimization of Radio Tracking Frequencies",
IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol.AP-27, No.3, May 1979, pp.393-397.

[56] Wanselow R.D., Milligan D.W.,
"Broadband Slotted Cone Antenna",
IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol.AP-14, No.2, March 1966, pp.179-182.

[57] McNamara D.A., Baker D.E., Botha L.,
"Some design considerations for biconical antennas",
International IEEE Antennas and Propagation Symposium Digest, Vol.22, June 1984, pp.173-176.

[58] Herscovici N., Dziadek E.,
"Omnidirectional Antennas for Wireless Communication",
International IEEE Antennas and Propagation Symposium Digest, Vol.37, June 1999, pp.556-559.

[59] Deschamps G.A,
"Impedance of an Antenna in a Conducting Medium",
IRE Transactions on Antennas and Propagation, September 1962, pp.648-650.

[60] Decker R.P.,
"A Comparison of the Performance of Three HF Circuits with Computer Predictions",
IEEE Transactions on Antennas and Propagation, September 1965, pp.743-749.

[61] Solosko R.B, Laxpati S.R.,
"A Log-Periodic Antenna with Vertically Polarized Omnidirectional Radiation",
IEEE Transactions on Antennas and Propagation, November 1968, pp.752-753.

[62] Winand K., Johnston R.H., Tung E.,
"A Smart Indoor Receiving Antenna in the PCS Band",
International IEEE Antennas and Propagation Symposium Digest, Vol.37, June 1999, pp.2432-2435.

[63] -,

"1.8MHz Measurement System – Discone Antenna",
http://www.ele.auckland.ac.nz/archives/students/butterworth/research/transmitters/discone.html.

[64] Cooper R.B,
"White Paper on SDS",
http://www.sdstv.com/index.html.

[65] DuHamel R.H., Ore F.R.,
"Logarithmically Periodic Antenna Designs",
IRE National Convention Record, Vol.06, March 1958, pp.139-151.

[66] Rappaport T.S.,
"Characterization of UHF Multipath Radio Channels in Factory Buildings",
IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol.37, No.8, August 1989, pp.1058-1069.

[67] Toeltsch M., Laurila J., Molisch A.F., Kalliola K., Vainikainen P., Bonek E.,
"Spatial Characterization of Urban Mobile Radio Channels",
IEEE 53rd Vehicular Technology Conference, Spring 2001, Rodos.

[68] Kivinen J., Zhao X., Vainikainen P.,
"Empirical Characterization of Wideband Indoor Radio Channel as 5.3GHz",
IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol.49, No.8, August 2001, pp.1192-1203.

[69] Kalliola K., Laurila J., Toeltsch M., Hugl K., Vainikainen P. Bonek E.,
"3-D Directional Wideband Dual-Polarized Measurement of Urban Mobile Radio Channel with Synthetic Aperture Technique",
Millennium Conference on Antennas and Propagation (AP-2000), Davos, Switzerland.

[70] Sanders F.H, Hand G.R.,
"Land Mobile Radio Channel Usage Measurements at the 1996 Summer Olympic Games",
NTIA Report 98-357, February 1998, US Department of Commerce.

[71] Skidmore R.R.,
"A Comprehensive In-Building and Microcellular Wireless Communication System Design Tool",
Master of Science in Electrical Engineering Virginia Polytechnic Institute and State University, June 1997.

[72] Nikookar H., Homayoun H.,

"Phase Modeling of Indoor Radio Propagation Channels",
IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol.49, No.2, March 2002, pp.594-606.

[73] Laitinen H., Kalliola A., Vainikainen P.,
"Angular Signal Distribution and Cross-Polarization Power Ratio seen by a Mobile Receiver at 2.15GHz",
http://www.vtt.fi/tte/rd/propagation/AP2000.pdf.

[74] Bolle D.M., Morganstern M.D.,
"Monopole and Conic Antennas on Spherical Vehicles",
IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol.AP-17, No.4, July 1969, pp.477-484.

[75] Coro A., CO2KK,
"Dxers Unlimited",
http://www.radiohc.org/Distributions/Dxers/scripts/02-0406.html.

[76] Federal Communications Commission Office of Engineering & Technology,
"Evaluating Compliance with FCC Guidelines for Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields",
http://www.fcc.gov/Bureaus/Engineering_Technology/Documents/bulletins/oet65/oet65a.pdf.

[77] ARRL,
"The ARRL Antenna Book CD v2.0",
ARRL, 2000, Ch.1, p.22.

[78] -,
"Discone Antenna Model CD-2W",
http://www.latorilla.com/vhf/b-c2w-1.htm.

[79] -,
"Discone Antenna Model CD-2T",
http://www.latorilla.com/vhf/b-c2t-1.htm.

[80] -,
"Discone Antenna",
http://www.t3.rim.or.jp/~qaz/discone.htm.

[81] Nagasawa K., Matsuzuka I.,
"Radiation Field Consideration of Biconical Horn Antenna with Different Flare Angles",
IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol.36, No.9, September 1988,

pp.1306-1310.

[82] Nagasawa K., Matsuzuka I.,
"Radiation Field Consideration of Biconical Horn Antenna with Different Flare Angles",
International IEEE Antennas and Propagation Symposium Digest, Vol.27, June 1989, pp.348-351.

[83] Nagasawa K., Matsuzuka I.,
"Radiation Field of Discone Antenna with an Oblique Cone",
IEEE/APs International Symposium Digest, Vol.2, 1992, pp.1828-1831.

[84] Nagasawa K., Matsuzuka I.,
"Radiation Patterns of Oblique Discone Antenna on an Elliptical Disk",
IEEE/APs International Symposium Digest, 1993, pp.1566-1569.

[85] Charoonwitwayakul N., Khamphet S.,
"Discone Antenna Design",
http://library.kmitnb.ac.th/projects/ind/ENT/ent0021e.html.

[86] Leigh D.L.,
"An Interference-Resistant Search for Extraterrestrial Microwave Beacons",
Thesis for Doctor of Philosophy in the subject of Applied Physics, Harvard University Cambridge, Massachusetts, June 1998,
http://seti.harvard.edu/grad/dpdf/thesislt.pdf.

[87] Kyle T.,
"Why Use a Discone Antenna?",
http://kyleti.aswwc.net/index.php?page=projects.

[88] Wills A.R.,
"A Different Antenna for the Mode-Stirred Channel",
http://www.ieee.org/organizations/pubs/newsletters/emcs/fall01/wills.html.

[89] Ζιμουρτόπουλος Π.Ε.,
"Κεραίες I/II: Ανάλυση",
Κεραίες-ΔΠΘ, Ξάνθη, 1999-2002,
http://antennas.ee.duth.gr/.

[90] Ζιμουρτόπουλος Π.Ε.,
"Κεραίες II/II: Σύνθεση, Σχεδιασμός",
Κεραίες-ΔΠΘ, Ξάνθη, 2001-2003,
http://antennas.ee.duth.gr/.

[91] Σαρρής Ε.Θ.,

"Ηλεκρομαγνητική Θεωρία",
ΔΠΘ, Ξάνθη, 1984

[92] Chipman R.A.,
"Theory and Problems of Transmission Lines",
Schaum's Outline Series, McGraw-Hill, 1968.

[93] Pez, SV7BAX,
"Complex z0",
http://groups.google.com/groups?dq=&hl=en&lr=&ie=UTF-8&oe=UTF-8&group=rec.radio.amateur.antenna&output=search&selm=bk9ldq%24fl1%241%40nic.grnet.gr,
Newsgroup rec.radio.amateur.antenna,

[94] BENELEC Professional Wireless Products,
"02676 – 60 to 1000MHz Broad Band Discone Antenna",
http://www.benelec.com.au/pdf/02676.pdf.

[95] Cross R.L.,
"ASAP: Antenna Scatterers Analysis Program",
ASAP site, 2002
http://home.att.net/~ray.l.cross/asap.

[96] Ζιμουρτόπουλος Π.Ε.,
"RICHWIRE: A corrected version of THINWIRE, ver. 1.2",
Κεραίες-ΔΠΘ, Ξάνθη, 1996-2000,
http://antennas.ee.duth.gr/.

[97] Γιαννοπούλου Ν.Ι., Ζιμουρτόπουλος Π.Ε.,
"RADPAT4W: Antenna Radiation Patterns for Windows, ver.4.3.7",
Κεραίες-ΔΠΘ, Ξάνθη, 1999-2003,
ftp://ftp.antennas.duth.gr/.

[98] Γιαννοπούλου Ν., SV7DMC,
"Μελέτη της προσαρμογής πολώσεων",
Κεραίες-ΔΠΘ,
Διπλωματική Εργασία #14, Ξάνθη 1992,
http://www.antennas.duth.gr/theses/diploma/enu/diplomatheses_1.htm.

[99] Κυριακού Γ.,
"Σημειώσεις. Μετρήσεις και Έλεγχος Μικροκυματικών Διατάξεων (Μετρήσεις παραμέτρων σέδασης)",
Εργαστήριο Μικροκυμάτων, ΔΠΘ, Ξάνθη, 2000.

[100] Γιαννοπούλου Ν.Ι, Ζιμουρτόπουλος Π.Ε.,
"ANALYZE: Automated Antenna Measurements, ver.10",
Κεραίες-ΔΠΘ, Ξάνθη, 1993-2003,
http://antennas.ee.duth.gr/.

[101] Γιαννοπούλου Ν.Ι, Ζιμουρτόπουλος Π.Ε.,
"ANALYZE: Automated Antenna Measurements, ver.13",
Κεραίες-ΔΠΘ, Ξάνθη, 1993-2003,
http://antennas.ee.duth.gr/.

[102] Λυσσούδης Γ.,
"Μελέτη και κατασκευή προτύπου απολαβής",
Κεραίες-ΔΠΘ,
Διπλωματική Εργασία #2, Ξάνθη, 1987,
http://antennas.ee.duth.gr/theses/diploma/enu/diplomatheses_1.htm.

[103] Γιαννοπούλου Ν.Ι., Ζιμουρτόπουλος Π.Ε.,
"Χάρτες Διαγραμμάτων Ακτινοβολίας",
Κεραίες-ΔΠΘ, Ξάνθη, 2002,
http://antennas.ee.duth.gr/.

[104] Γιαννοπούλου Ν.Ι, Ζιμουρτόπουλος Π.Ε,
"Virtual Antennas",
Κεραίες-ΔΠΘ, Ξάνθη, 1999-2002,
http://library.wolfram.com/database/MathSource/868.

[105] Γιαννοπούλου Ν.Ι, Ζιμουρτόπουλος Π.Ε,
"Virtual Antennas",
Κεραίες-ΔΠΘ, Ξάνθη, 1999-2002,
http://emlib.jpl.nasa.gov/EMLIB/education.html.

[106] Interad LTD.,
"Products Antenna and Related",
http://www.interadlimited.com/products.html.

[107] -,
"Sirio SD1300 Discone",
http://www.durhamradio.com/1300.htm.

[108] -,
"AOR DA3000 Wideband Discone",
http://www.grove-ent.com/ANT11.html.

[109] -,

"Broadband Discone Antenna Kit (450-2500MHz)",
http://www.hobbytron.net/da25.html.

[110] -,
"Diamond Wideband Discone Antenna",
http://www.grove-ent.com/ANT9.html.

[111] Icom,
"Scanner Antennas",
http://www.universal-radio.com/catalog/scanants/0828.html.

[112] -, "Double Discone Antenna",
http://www.radio-ware.com/products/ant426.htm.

[113] -, "Scanmaster DD1300",
http://www.nevadaradio.co.uk/acatalog/scanmaster-dd1300.html.

[114] BENELEC Professional Wireless Products,
"02675 – 60 to 1000MHz Broad Band Discone Antenna",
http://www.benelec.com.au/pdf/02675_tech.pdf.